

Vh

TIE - JA VESIRAKENNUSHALLITUS

MAARAKENTAMISEN UUDET TYÖMENETELMÄT



08
TIE



78 284

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS

Hallintotoimisto

Helsinki 17.4.1978

No Hha-56

Viite

Turun, Uudenmaan, Kymen, Hämeen,
Mikkelin ja Keski-Suomen piirit
ja Saimaan kanavakonttori

Asia Maarakentamisen uudet työ-
menetelmät kurssi n:o 1

Tie- ja vesirakennushallitus järjestää oheisen ohjelman mukaisesti MAARAKENTAMISEN UUDET TYÖMENETELMÄT -kurssin (INSKON vastaavan kurssin pohjalta) 6.-7.6.1978 Espoossa, VKK:n kurssikeskuksessa Keilaniemessä.

Kurssin tavoitteena on lisätä rakentamis- ja suunnitteluvalmiuksia uusien rakentamismenetelmien käyttämiseksi ja soveltamiseksi eri hankkeisiin sekä näiden merkitystä työn tuottavuuteen ja taloudellisuuteen.

Kurssin osanottajiksi pyydetään määräämään 4 työpäällikköä tai työmaapäällikköä rakentamis- tai suunnittelutoimialoilta sekä TVH:n rakennus- ja suunnitteluosastoilta 3 henkilöä kumpaisestakin.

Kurssilaisille on varattu majoitus Keilaniemen kurssikeskuksesta, joka on maksuton. Majoitusvaraukset tulee ilmoittaa osanottoilmoituksen yhteydessä.

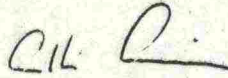
Osanottajien nimet pyydetään ilmoittamaan koulutusjaostoon 12.5.78 mennessä.

Kurssin vetäjänä toimii tekn.tri Asko Saarela TVH:sta ja häneltä saa lisätietoja puh. 90-630741/721.

vastauksessa pyydetään viittamaan
kirjelman numeroon ja päiväykseen

TVH 8.203 A4
15000 3.75 7762-75/23/7817

Vastaava kurssi järjestetään syksyllä 1978 (paikka avoin),
Vaasan, Kuopion, Pohjois-Karjalan, Keski-Pohjanmaan,
Kainuun, Oulun ja Lapin piireille.



Toimistopäällikkö Erkki Saarinen

LIITE:

Ohjelma

TIEDOKSI:

Vaasan piiri

Kuopion piiri

Pohjois-Karjalan piiri

Keski-Pohjanmaan piiri

Kainuun piiri

Oulun piiri

Lapin piiri

R-os.

S-os.

Ti

Hha

Yli-ins. U. Castren, Rrt

Ins. Jorma Lähetkangas, Keski-Pohjanmaan piiri

Tekn.tri Asko Saarela, Kp

DI Jouko Kankainen, Rrt

Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus

Os. Töölönkatu 4 00100 HELSINKI 10

Ap.prof. M. O. Juhola, Teknillinen korkeakoulu

os. Otaniemi 02150 ESPOO 15

Rkm Tapio Raukola, Rotator Oy

os. 01510 VANTAA 10

Tekn.tri Lasse Weckström, Lohja Ab Rudus

os. Kellosaarenranta 1 00180 HELSINKI 18

Fil.tri Reijo Gardemeister, Imatran voima Oy

os. Malminkatu 16 00100 HELSINKI 10

Os.pääll. Pekka Jyränkö, Helsingin kaup. rak.virasto

os. Kasarminkatu 21 00130 HELSINKI 13

MAARAKENTAMISEN UUDET TYÖMENETELMÄT

KURSSI No 1

OHJELMA

Tiistai 6.6.

10.00 - 10.30	Avaus	INSKON edustaja ja U. Castren TVH
	<u>POHJARAKENNUS JA PENGERRYSTYÖT</u>	
10.30 - 11.45	Maarakentamisen pohjatyöt Raivaus-, pohjanmuotoilu-, leikkaus ja pengerrystyöt, niissä käytetyt menetelmät ja niihin liittyvät työnjärjestelykysy- mykset. Koneyhdistelmät ja kuljetusjärjestelmät. Esiliikenne- järjestelyt. Esimerkkejä erilaisista työkohteista, käytetyistä menetelmistä ja syntyneistä kustannuksista.	Ins. Jorma Lähetkangas TVL, Keski-Pohjanmaan piiri
	LOUNAS	
13.00 - 13.45	<u>Maarakenteiden pohjarakennustyöt</u> Paalutus. Maapohjan vahvistaminen (kalkkipilarit, pystyotat, massanvaihdot, syvätiivistäminen jne.). Roudan ja keinotekoisien jäädymien hyödyntäminen. Esimerkkejä erilaisista työkoh- teista, kalustosta ja syntyneistä kustannuksista.	Ap.prof. M. O. Juhola Teknillinen korkeakoulu
13.45 - 14.15	Iltapäiväkahvi	
14.15 - 15.00	Maarakenteiden pohjarakennustyöt	- " -
15.15 - 16.30	<u>Pengertäminen ja penkereiden perusparantaminen</u> Pengertämistavat. Esimerkkejä pengerryksen suorituksesta eri työkohteissa. Tierakenteiden levennykset. Laadun parantaminen (routa- ja eroosioauriot). Kustannukset.	Tekn.tri Asko Saarela TVH
	PÄIVÄLLINEN	
17.15 - 18.00	<u>Tiivistämismenetelmät ja -työt</u> Uusimmat koneet, laitteet ja menetelmät. Tiivistämisen ongelmat. Talvitiivistäminen. Tiivistämisen tarkkailu (laadunvalvonta). Kustannukset.	Rkm Tapio Raukola Rotator Oy

Keski viikko 7.6.

	<u>ERIKOISTYÖT JA -KYSYMYKSET</u>	
9.00 - 10.00	<u>Sementin ja kalkin käyttö maarakentamisessa</u> Sementin ja kalkin ominaisuudet ja soveltuvuus maarakentamiseen. Pintastabilointi. Maabetoni. Muut maarakentamisen betonityöt. Esitys keskittyy uusimpiin menetelmiin ja kehityssuuntauksiin, joita valotetaan esimerkein ja joista pyritään antamaan kustannus- tietoa.	Tekn.tri Lasse Weckström Lohja Ab Rudus
10.00 - 11.45	<u>Synteettiset kuidut maarakentamisessa</u> Synteettisten materiaalien rakenne ja ominaisuudet. Tuotteille asetettavat vaatimukset. Synteettisten kuitujen käyttö. Koke- muksia tehdyistä töistä. Kustannus- ja laatuvertailuja. Tulevai- suuden kehitysnäkymät.	Fil.tri Reijo Gardemeister Imatran Voima Oy
	LOUNASTAUKO	
13.00 - 14.00	<u>Ympäristön viimeistelytyöt</u> Tarvittavat suunnitelmat. Ympäristön säilyttäminen. Vihreytyksen toteutus. Kustannukset.	Os.pääll. Pekka Jyränkö Helsingin kaup. rak.virasto
14.00 - 15.00	<u>Maarakentamisen menetelmien kehittäminen</u> Esimiehen panos kehittämisessä. Kehittäminen massataloudelli- sista näkökohdista lähtien, koneista lähtien, työturvallisuudesta lähtien. Organisaation kehittämisvalmiuden parantaminen.	DI Jouko Kankainen, TVH
15.00 - 15.30	Kritiikki ja päätös	Tekn.tri Asko Saarela

Insinööri Jorma Lähetkangas

MAARAKENTAMISEN POHJATYÖT

1. JOHDANTO

Maarakentamisen pohjatöillä tarkoitetaan tässä yhteydessä kaikkia niitä toimenpiteitä ja toimintoja, jotka on tarpeen tehdä ennen kuin varsinaiset rakenteet voidaan rakentaa.

Esityksessä keskitytään lähinnä tienrakennushankkeen eri vaiheisiin, mutta useimmat menetelmiin liittyvät seikat ovat sovellettavissa muihin maarakennushankkeisiin. Tässä yhteydessä voisi jo korostaa sitä seikkaa, että pohjatöiden laadullisella onnistumisella on ratkaiseva vaikutus myös valmiin rakenteen laatuun.

2. RAIVAUSTYÖT

Raivaustöillä ymmärretään yleisimmin kasvullisuuden ja olemassa olevien rakenteiden purkamista tulevan rakenteen paikalta.

2.1. Hyötypuun hakkuu

Hyötypuun hakkuu suoritetaan vielä yleisimmin miestyönä moottorisahaa käyttäen. Puut kaadetaan, karsitaan ja katkotaan sopivan pituisiksi tielinjalla, minkä jälkeen puutavara kuljetetaan traktorilla pois tiealueelta. Karkeana työsaavutustietona voidaan esittää, että ammattitaitoinen hakkuumies käsittelee n. 30 runkoa työvuorossa.

Suurempien hakkuukohteiden kyseessä ollen voitaisiin harkita monitoimi- eli metsänkorjuukoneiden käyttöä. Näiden työsaavutus on nykyisellään 150-200 runkoa/työvuoro.

2.2. Pienpuuston ja pensaiden raivaus

Pienpuuston ja pensaiden raivaukseen soveltuu parhaiten raivaussaha, jota käyttäen päästään 50-70 a/tv työsaavutukseen. Yleisimmin käytettäneen kuitenkin tässä työssä vesuria, jolloin yhden miehen työsaavutus on noin 2000 m²/tv.

Hakkuujätteet on kasattu ja poltettu paikalla, jolloin työsaavutus TR + 1 - 2 RM työryhmällä on 1000 ... 1200 m²/h.

Menetelmä on sellainen, että hakkuujäte kasataan traktorin maatalous-
(kultivaattorilla kasoihin tielinjalle n. 40 m välein, minkä jälkeen kasat poltetaan. Jos raivaus- ja hakkuujätteiden kasaaminen ja poltto suoritetaan miestyömä, vaihtelee yhden miehen työsaavutus 25 ... 100 m²/tv raivattavan alueen kasvillisuuden tiheydestä riippuen.

Toinen mahdollisuus on hakkuujätteiden kuormaus ja poiskuljetus. Tämä ei ole erityisen suositeltavaa, koska monet työvaiheet kuljetuksineen nostavat nopeasti kustannuksia.

2.3. Kivien, kantojen ja pintamaan poisto

Tierakenteissa on normien vaatimuksen mukaan kannot, mättäät, aluskasvillisuus ja kivet poistettava sekä pohjamaa tiivistettävä, mikäli niiden etäisyys valmiin rakenteen yläpinnasta on pienempi kuin taulukossa 2.3/1 esitetty arvo.

Taulukko 2.3/1 Pintakivien, kantojen yms. pienin sallittu etäisyys rakenteen yläpinnasta tien eri päällysrakenneluokissa.

Päällysrakenne n:o	Kannot, mättäät aluskasvillisuus	Pintakivet $\phi \geq 0,5$ m
1...3	1,7 m	2,1 m
4	1,5 m	1,9 m
5	1,3 m	1,7 m
6	1,2 m	1,6 m
7	0,8 m	1,0 m
8	0,5 m	0,5 m

Nykyisin pintamaa ym. poistetaan yleisimmin työntämällä ne kasoihin puskutraktorilla, minkä jälkeen ne on joko kuormattu kuljetusvälineeseen ja ajettu kaatopaikalle tai kannettu sinne pyöräkuormaajalla.

Kasaanpuskuissa olisi hyvä käyttää piikkipuskuria, koska sillä aikaansaadaan säästöjä massataloudessa. Tosin piikkipuskureita on tarjolla nykyisin hyvin vähän.

Kasaanpuskun työsaavutus vaihtelee olosuhteiden mukaan
PT 18...25 R:lla 400 ... 1200 m²/h (K 3)

MENETELMÄAIKA	K2-KAPASITEETTI (m2td/h)			
<ul style="list-style-type: none">- varsinainen kasaanpusku- jaksottaiset siirtymiset- roudan irrotus- kivien ja kantojen irrotus	KONEKOKO	OLOSUhteET	POHJAMAAN KAIVULUOKKA (IVO)	
			K:1 ja K:2	K:3
	PT 18 R	HELPOT	1300	900
		NORMAALIT	1000	675
		VAIKEAT	700	450
	PT 25 R	HELPOT	1400	1050
NORMAALIT		1100	750	
VAIKEAT		800	500	
OLOSUHDEKuvaus	HELPOT	NORMAALIT	VAIKEAT	
	<ul style="list-style-type: none">- ei routaa- Kivet + kannot < 3 kpl/a	<ul style="list-style-type: none">- routaa < 2 dm- kivet + kannot ≤ 7 kpl/a	<ul style="list-style-type: none">- routaa ≥ 2 dm- kivet + kannot > 7 kpl/a	

Taulukko 2.3/2 Pintamaan kasaanpuskun työsaavutuksia

Raivausjätteen kuormaus poiskuljetusta varten tehdään tavallisesti pyöräkuormaajalla. Taulukossa 2.3/3 on esitetty eri kokoisten pyöräkuormaajien työvuorokapasiteetteja.

MATERIAALIKUVAUS

A=Hm, ruokamulta, turve; kannot ja kivet ovat pieniä

B=Kantoiset raivaukset (normaali raivauskasat metsäalueilla)

C=Erittäin kiviset, lohkariset ja kantoiset materiaalit

SUORITUSTASO

OPTIMI:

- materiaali kuiva, routa ei haittaa
- kuormausalusta tasainen, kovapohjainen
- sää poutainen +23 - 15°C
- kone on hyväkuntoinen ja kauh sopiva työhön (kynnet)
- kuljettaja täysin asennettu

NORMAALIT:

- materiaalin kosteusala ja routa ei erityisesti vaikeuta työtä
- kuormausalusta pyöräkuormaajalle liikkumiskelpoinen
- sää ei vaikeuta työtä
- kone on hyväkuntoinen ja kauh sopiva työhön
- kuljettajalla 1 v kokemusta

ALLE NORMAALI:

- materiaali on routaantunut
- kuormausalusta on kuoppainen, pehmeä tai liukas
- sää ei estä työtä
- kone kestää normaalia rasitusta
- kuljettajalla vähän kokemusta

Huom. Optimitaso voidaan erittäin edullisissa kuormausolosuhteissa jonkin verran ylittää.

MENETELMÄAIKA

- varsinainen kuormaus
- kuormauspaikan tasaus
- auton vaihdot

TYÖVUORON LISAAJAT

- kahvitauot
- työnjohdon ohjeet
- tahdistus-häiriöt
- tupakkatauot

K2 - KAPASITEETTI (m3/d/h)

MATE- RIAALI	SUORITUS- TASO	KONE			
		KUP 06	KUP 09	KUP 11	KUP 14
A	OPTIMI	140	165	200	225
	NORMAALI	110	135	165	190
	ALLE NORM	80	105	130	155
B	OPTIMI	105	125	155	175
	NORMAALI	80	100	125	145
	ALLE NORM.	55	75	95	115
C	OPTIMI	75	95	110	125
	NORMAALI	55	70	85	100
	ALLE NORM	35	50	60	75

K3 - KAPASITEETTI (m3/d/h)

MATE- RIAALI	SUORITUS- TASO	KONE			
		KUP 06	KUP 09	KUP 11	KUP 14
A	OPTIMI	110	130	160	180
	NORMAALI	90	110	130	150
	ALLE NORM	65	85	105	125
B	OPTIMI	85	100	125	140
	NORMAALI	65	80	100	115
	ALLE NORM.	45	60	75	95
C	OPTIMI	60	75	90	100
	NORMAALI	45	55	70	80
	ALLE NORM.	30	40	50	60

22-KERTOIMENA KÄYTETTY ≈ 0,80

82-KERTOIMENA KÄYTETTY=0,80

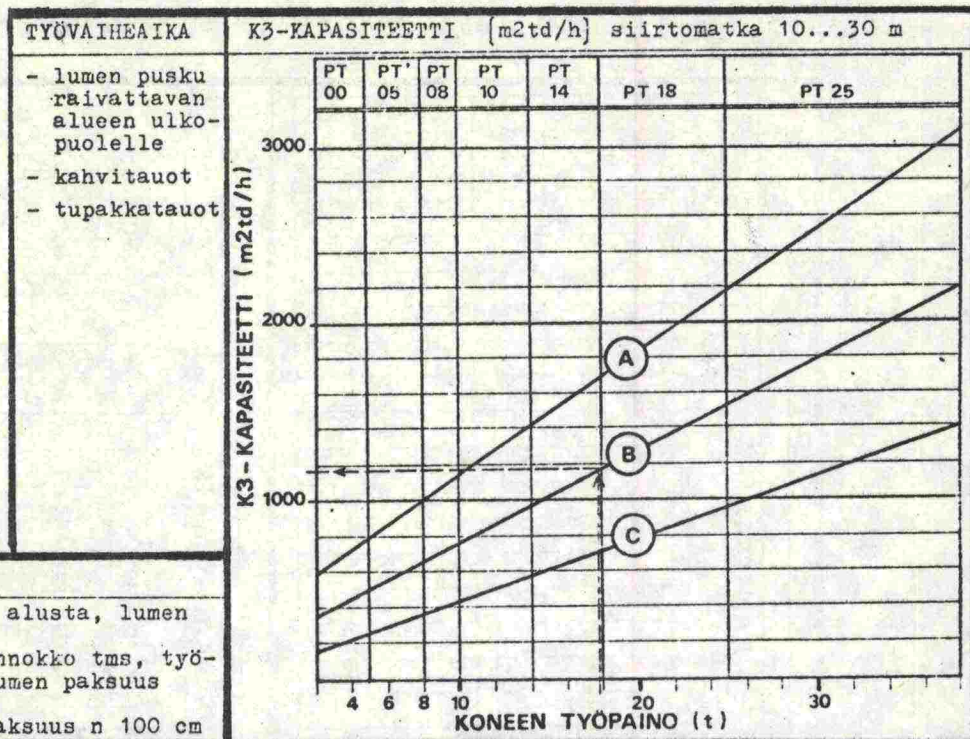
Taulukko 2.3/3 Raivausjätteiden kuormauskapasiteetit pyöräkuormaajalla.

Raivausjätteiden läjitysalueita tulisi varata niin tiheästi, että ajomatkat eivät muodostu pitkiksi.

Läjitysalueella tarvitaan tällä menetelmällä työskenneltäessä levityskone, jollaiseksi soveltuu PT 05 kokoluokkaa oleva kone.

Pintamaiden raivaus voidaan myös suorittaa kaivukoneella, jolloin kone kuormaa raivausjätteen suoraan autoihin ilman kasausta. Kaivukoneraivaus on sinänsä suositeltavaa, sillä on todettu, että työskentely on tarkempaa kuin puskutraktorilla. Raivausjätteen mukana ei lähde niin paljoa kelvollista perusmaata kuin puskutraktorilla. Tämä vähentää raivausjätteen käsittelyä sekä pengermaan tarvetta.

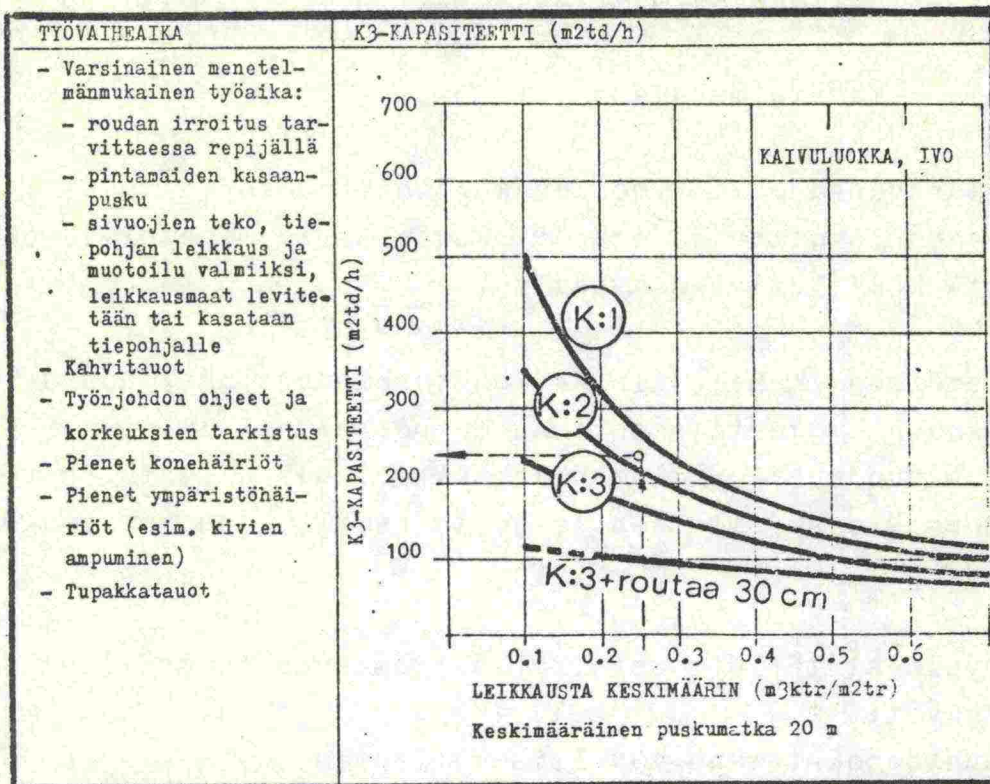
Talviaikana raivaustyöhön vielä liittyy lumen poisto työskentelyalueelta. Tämä suoritetaan parhaiten puskutraktorilla työntämällä lumi raivausalueen reunoille tai olosuhteiden mukaan sen ulkopuolelle.



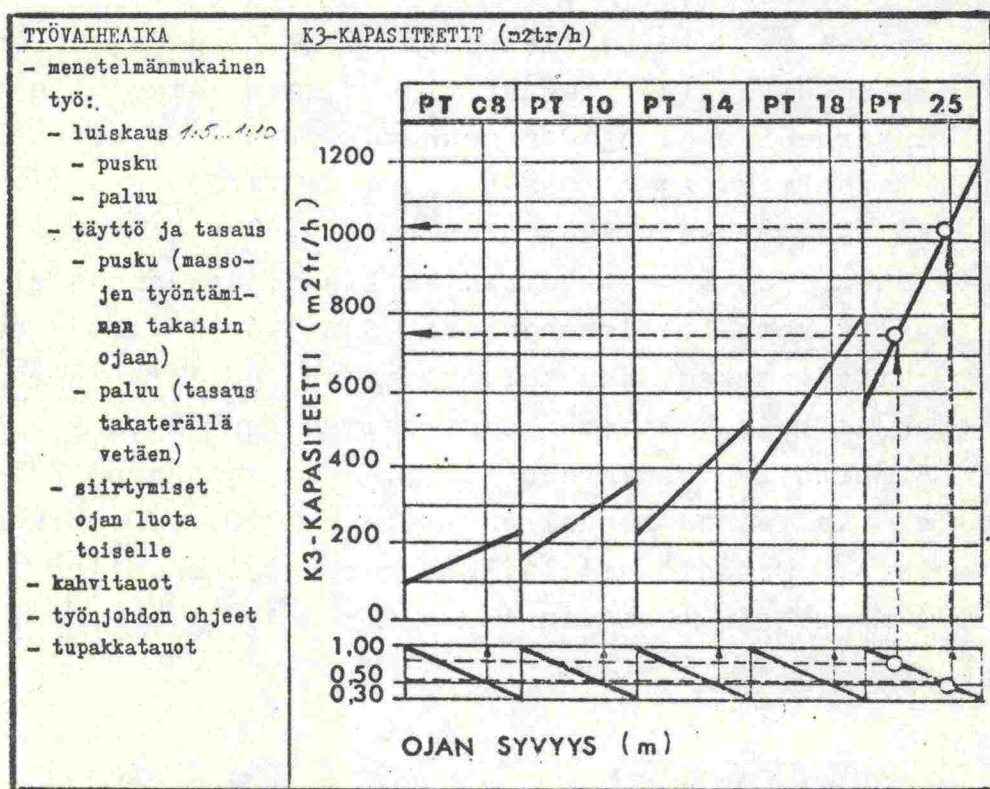
Kuva 2.3/5 Lumen raivaus puskutraktorilla

2.4. Pohjan muotoilu ja tasaus

Tiepohja on muotoiltava ja epätasaisuudet joko tasoitettava tai suurten epätasaisuuksien kyseessä ollen luiskatava epätasaisen routimismuutoksen ehkäisemiseksi. Tässä yhteydessä tehdään tavallisesti myös tien sivuojat.



Kuva 2.4/1 Tiepohjan muotoilun työsaavutus PT 18:lla



Kuva 2.4/2 Sarkaojen luiskauksen työsaavutukset PT 08 - PT 025

2.5. Raivaus hautaamismenetelmällä

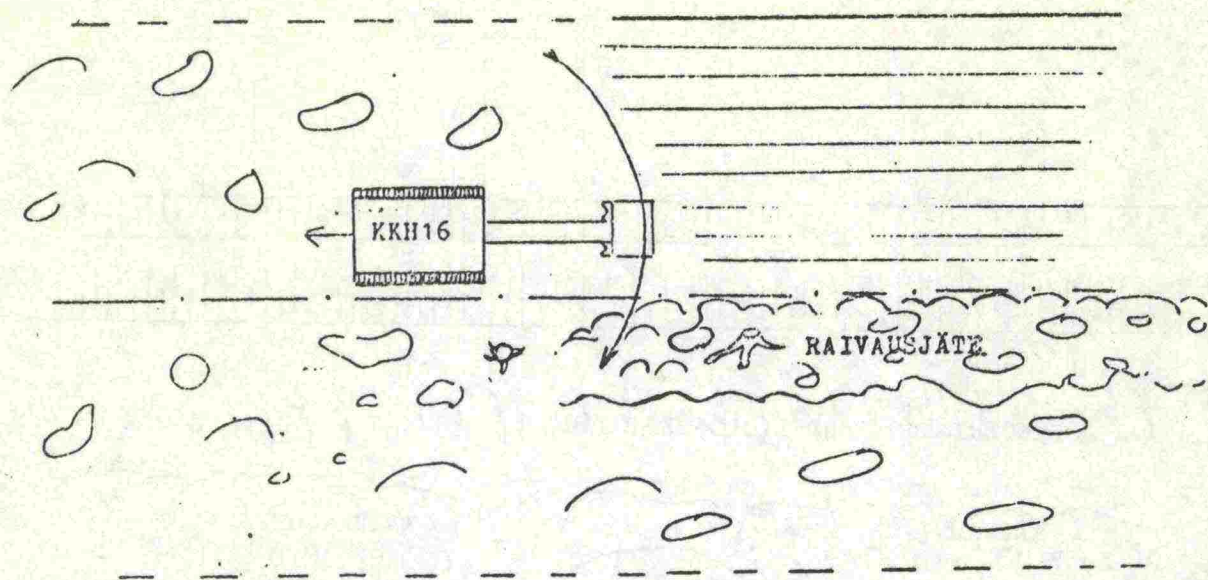
2.5.1. Menetelmäkuvaus

Raivaustyössä esiintyneiden kustannusvuotojen takia asiaa on pohdittu ja eräitä uudenlaisia menetelmiä on otettu kokeilumielessä käyttöön.

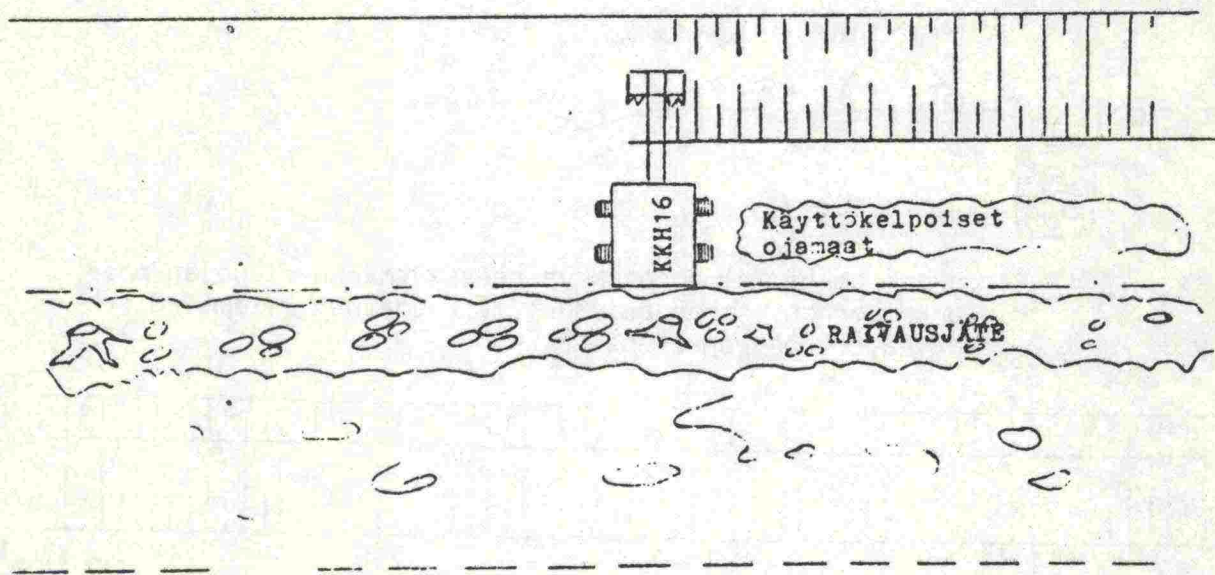
Ensimmäisenä kokeiltiin nk. hautausmenetelmää, jonka yleiskuva lyhyesti sanottuna on seuraavanlainen: Tien sivuojan-vierialueen kohdalle tehdään hauta, johon raivausjäte sijoitetaan ja josta samalla saadaan pengermaata.

Työnvaiheet tällä menetelmällä työskenneltäessä ovat seuraavat:

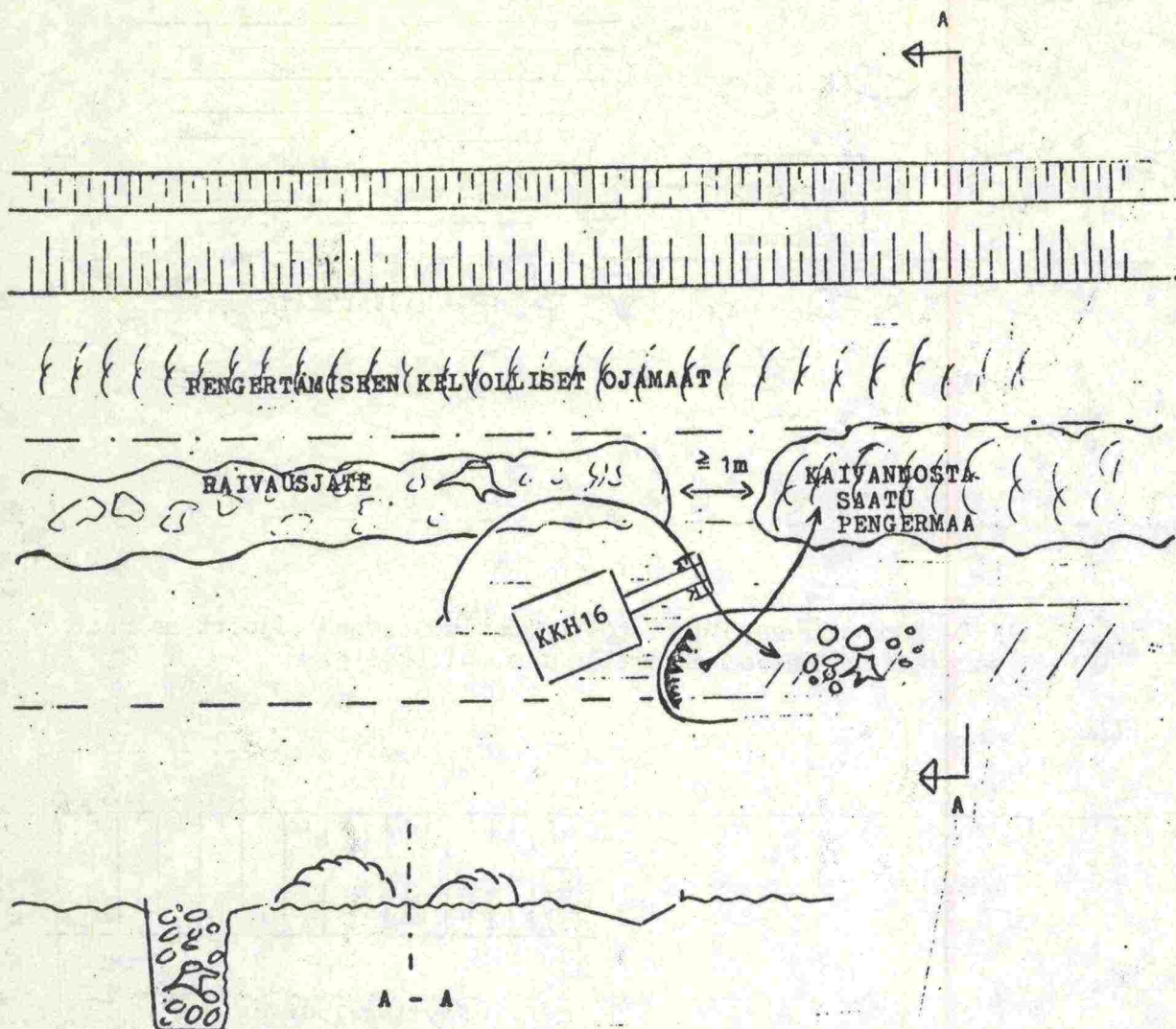
- puusto poistetaan tavalliseen tapaan
- KKH irroittaa kivet, kannot ja poistettavan pintamaan puolen raivausalueen leveydeltä sijoittaen ne jatkuvaksi kasaksi keskilinjan viereen raivaamattomalle tienpuoliskolle (kuva 2.5.1/1)
- KKH kaivaa raivatulle tienpuoliskolle sivuojan. Pengerämiseen kelvolliset massat sijoitetaan raivatulle alustalle karheelle ja ojasta nousevat ylisuuret kivet laitetaan raivausjätekasaa (kuva 2.5.1/2)
- KKH kaivaa toisen sivuojan ja vierialueen kohdalle kaivannon, josta saatavat kelvolliset pengermaat sijoitetaan raivatulle tiepohjalle. Sama kone siirtää raivausjätteet tekemäänsä kaivantoon ja suorittaa samalla tiepohjan raivaamattoman osan raivauksen (kuva 2.5.1/3)
- PT 08 muotoilee penkereen ja sivuojan kaivannon kohdalle. Kaivannon kohdalle jätetään ~ 20...30 cm:n painumavara. Mahdolliset liikamassat kasataan siirrettäväksi massavajauskohtiin (kuva 2.5.1/4).



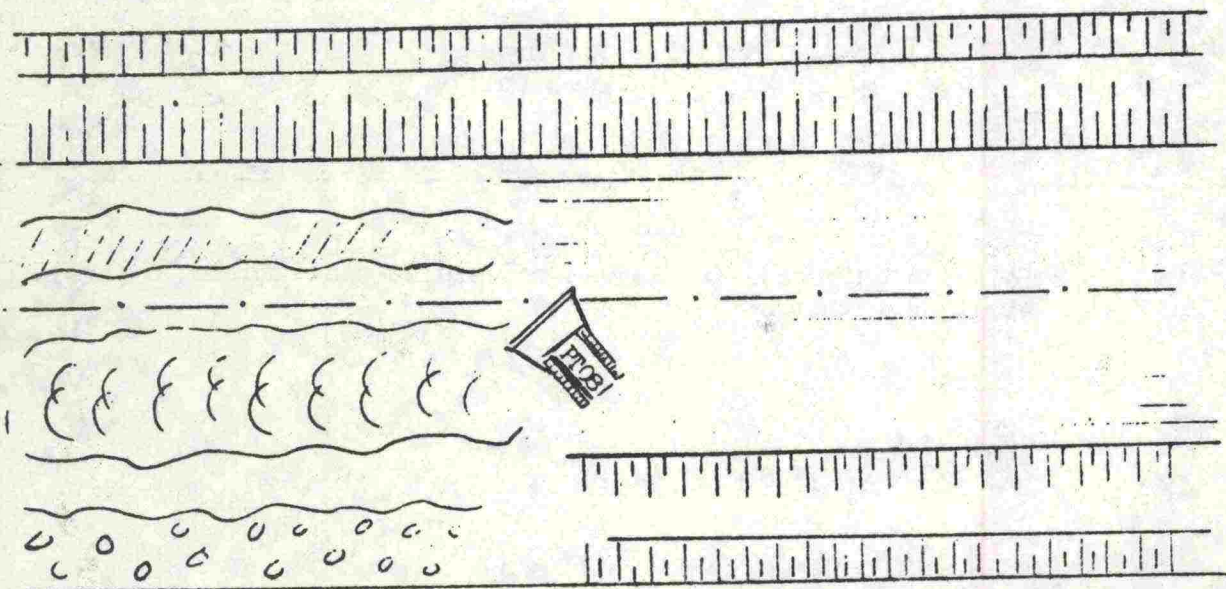
Kuva 2.5.1/1 Kaivukone raivaa aluksi toisen puolen tiestä sijoittaen raivausjätteet raivaamattomalle tiepuoliskolle.



Kuva 2.5.1/2 Toisessa vaiheessa KKH kaivaa raivatulle puoliskolle sivuojan.



Kuva 2.5.1/3. Kaivukone tekee kolmannessa vaiheessa toisen sivuojan paikalle kaivannon, johon raivausjäte haudataan. Ylimääräiset massat käytetään penkereeseen.



Kuva 2.5.1/4 Lopuksi puskutraktori muotoilee tiepohjan ja kasaa mahdolliset liikamassat muualle siirrettäviksi.

2.5.2. Kustannusten tarkastelu

Menetelmää suunniteltaessa ja kokeiltaessa suoritettiin vertailevia tutkimuksia perinteisellä tavalla suoritettun raivauksen ja hautaamismenetelmän välillä samoissa olosuhteissa peräkkäisillä jaksoilla.

Tutkimus tehtiin keväällä 1976 ja kustannukset on laskettu sen hetkisen hintatason mukaan. Olosuhteista mainittakoon, että routaa ei esiintynyt mainittavasti, poistettavia kantoja oli 6...7 kpl/a ja lohkaraita $\varnothing \geq 50$ cm 5 kpl/a. Kustannusvertailu on esitetty taulukossa 2.5.2/1.

Taulukko 2.5.2/1 Kustannusvertailu samoissa olosuhteissa kahdella eri menetelmällä tehdystä tiepohjan raivauksesta.

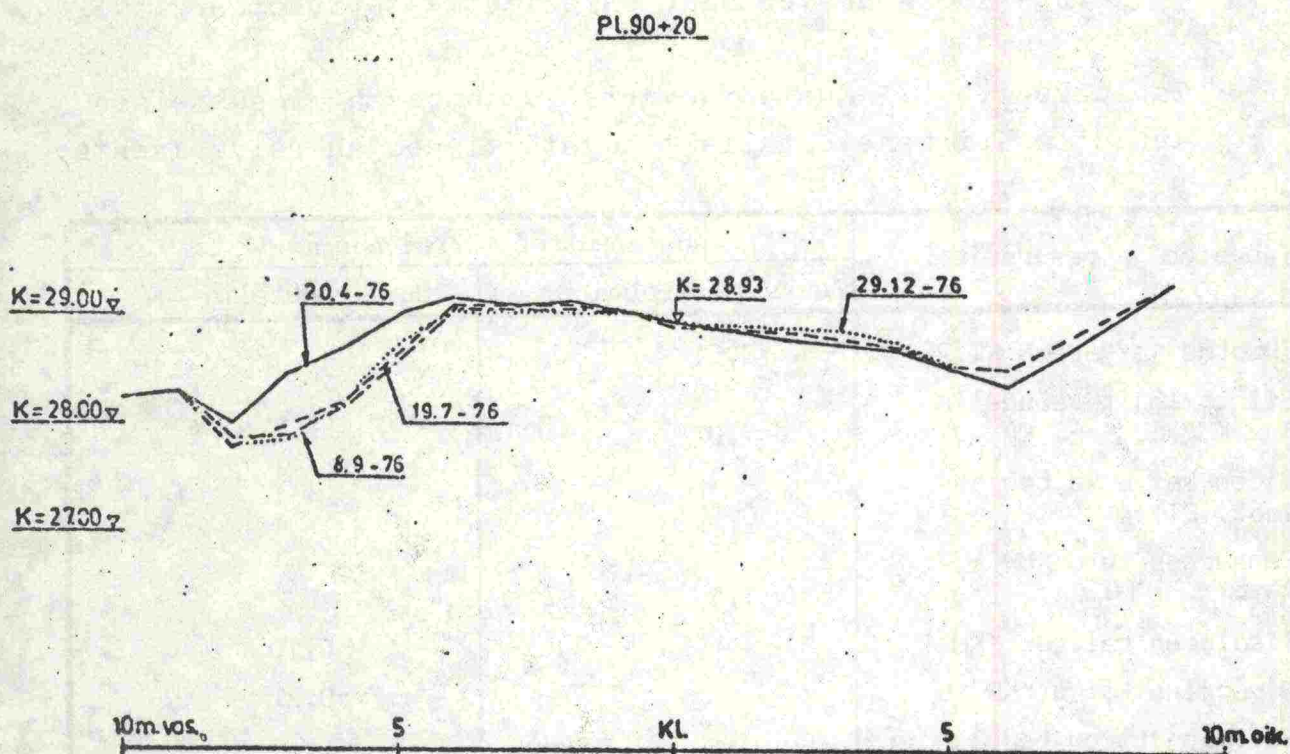
Työvaihe ja resurssit	Kustannukset mk/raivaus-m ²	
	Vanha menetelmä	Uusi menetelmä
Irrotus ja kasaus PT 25	0,51	
Siirto läjitysalueelle 3 x KUP 18 + PT 08	1,07	
Ojien kaivu ja pohjan muot. PT 14	0,50	
Penkereen teko KUP + KA:t + PT 08	1,15	
Tiealueen raivaus KKH 16		0,10
Sivuojien kaivu KKH 16		0,21
Raivausjätteen hautaus ja pengermaan hankinta KKH 16		0,65
Penkereen tasaus ja muo- toilu PT 08		0,19
Σ	3,23	1,15

Toisissakin suoritetuissa vertailututkimuksissa on päädytty tulokseen, että hautaamalla raivausjätteet saavutetaan 50...60 % säästö entisiin menetelmiin verrattuna.

2.5.3. Tulosten tekninen tarkastelu

Raivausjätteen määrään ei käytetyllä menetelmällä ole sanottavaa vaikutusta. Vanhalla menetelmällä raivattaessa tuli jätteitä $0,22 \text{ m}^3/\text{td}/\text{m}^2$ ja uudella menetelmällä $0,21 \text{ m}^3/\text{td}/\text{m}^2$.

Penkereen jälkipainumaa varten varattiin uudella menetelmällä tehdyillä kohdilla $\sim 20...30 \text{ cm}$ maata. Kuvassa 2.5.3/1 on esitetty penkereen poikkileikkausvaaitusten tuloksia.



Kuva 2.5.3/1 Penkereen poikkileikkauksia eri ajankohtina tieosalla, missä raivausjätteet on haudattu vasemman sivu-ojan kohdalle. Kaivannon tiivistyminen on tapahtunut melko pian ja sanottavia painumia ei myöhemmin ole ilmennyt.

Kaivannon sijoittaminen on suoritettava siten, että se sijaitsee luiskan ja tien pinnan yhtymäkohdan kautta kulkevan 45° kulmassa olevan tason ulkopuolella.



Kuva 2.5.3/2 Kaivanto, johon raivausjätteet haudataan on sijoitettava tien pinnan ja luiskan yhtymäkohdan kautta 45° kaltevuudessa kulkevan ajatellun tason ulkopuolella.

2.5.4. Hautausmenetelmän tarkastelu

Raivausjätteiden hautaaminen soveltuu edellä esitetyssä muodossa käytettäväksi siellä, missä perusmaa on penkereeseen kelpaavaa ja pohjavesiolosuhteet eivät ole esteenä kaivannon tekemiselle.

Käytettävillä kaivukoneilla tulisi olla riittävän suuri ulottuma, että pengermää ja raivausjätteet voidaan pitää erillään.

Kustannuksiltaan hautaamismenettely on niin edullinen, että sen käyttöä voi suositella aina silloin, kun tekniset seikat eivät ole esteenä.

Työsaavutuksista voi mainita suuntaa antavina nyrkkisääntöinä:

- raivaus KKH 16 $\sim 500 \text{ m}^2/\text{h}$ (K 3)
- maamassojen käsittely KKH 16 $\sim 30...50 \text{ m}^3/\text{h}$ (K 3)
- pengermäiden levitys ja muot. PT 08 $\sim 300 \text{ m}^2/\text{h}$ (K 3)

Rakennetuilla koeosuuksilla suoritettussa jälkitarkkailussa ei ole ainakaan tähän mennessä ilmennyt menetelmän kannalta kielteisiä seikkoja.

3. LEIKKAUS- JA PENGERRYSTYÖT

3.1. Yleistä

Leikkaus- ja pengerrystöiden osuus maarakentamisesta on melko huomattava. Esimerkiksi tienrakennustöissä v. 1975 käsiteltiin näiden töiden yhteydessä maamassoja 8,5 milj. m³, kustannusten ollessa n. 81 Mmk. Vertailun vuoksi todettakoon, että sitomattomia rakennekrroksia tehtiin 5 milj. m³ ja kalliroleikkauksia 1 milj. m³. Maaleikkaus- ja pengerrystyöt muodostavat toiminnaltaan tyypillisen maarakennustyön työvaiheketjun irroitus - kuormaus - kuljetus - vastaanottokäsittely. Koska muissa yhteyksissä tultaneen käsittelemään eri työvaiheiden geoteknistä puolta, keskitytään tässä lähinnä työnjärjestelykysymyksiin.

3.2. Maaleikkauksen tekeminen

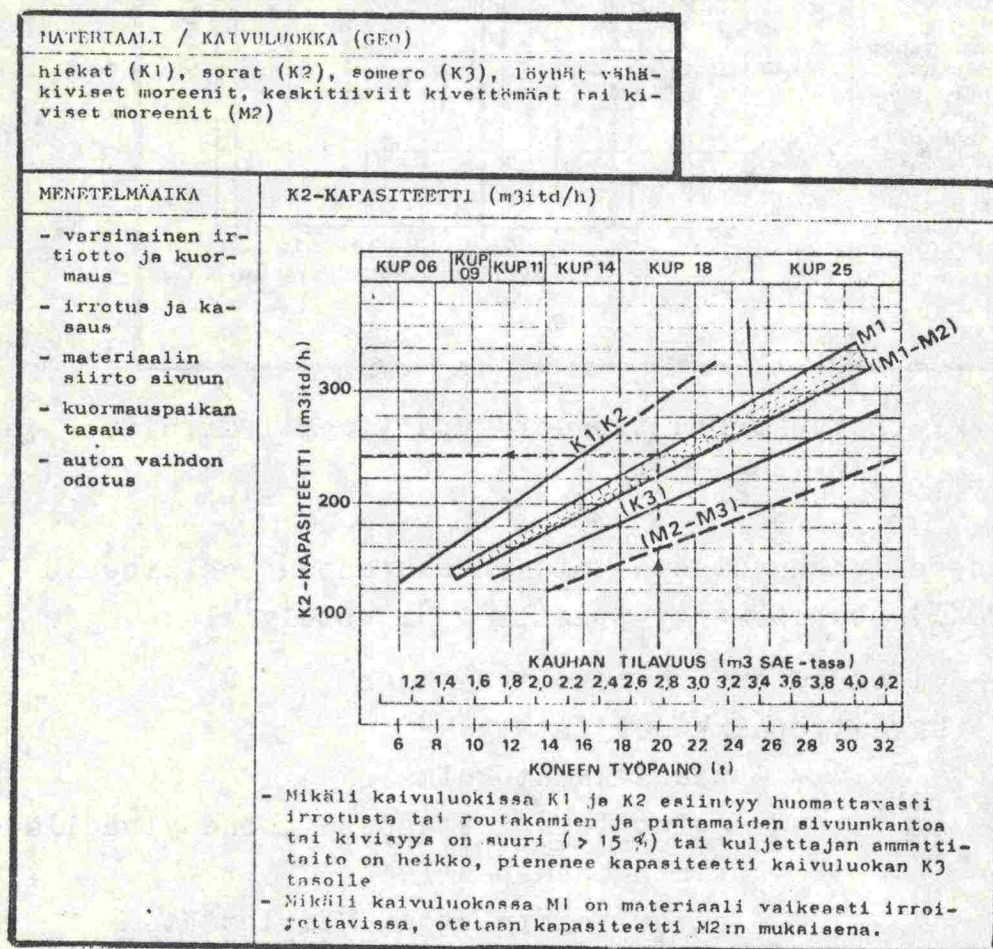
Jo maaleikkaustöiden suunnitteluvaiheessa on pyrittävä siihen, että maamassat ovat työskentelyajankohtana mahdollisimman helposti käsiteltävässä tilassa. Suurimman pulman Suomen ilmasto-olosuhteissa muodostaa tässä suhteessa routaantuminen. Mikäli leikkaustyö joudutaan kuitenkin suorittamaan talviaikana olisi routaantuminen estettävä mahdollisimman tehokkaasti. Tässä tulevat kysymykseen liikennejärjestelyt ja erilaisten suoja-levyjen käyttö.

Liikennejärjestelyt tulevat nykyisin varsinkin tienrakentamisessa yhä keskeisemmiksi, koska töiden painopiste on siirtynyt uuden rakentamisesta rakenteen parantamiseen. Kiertotien käyttö tai leikkauksen tekeminen puoli tietä kerrallaan antavat omat reunaehdotensa leikkaustyön työjärjestelyille.

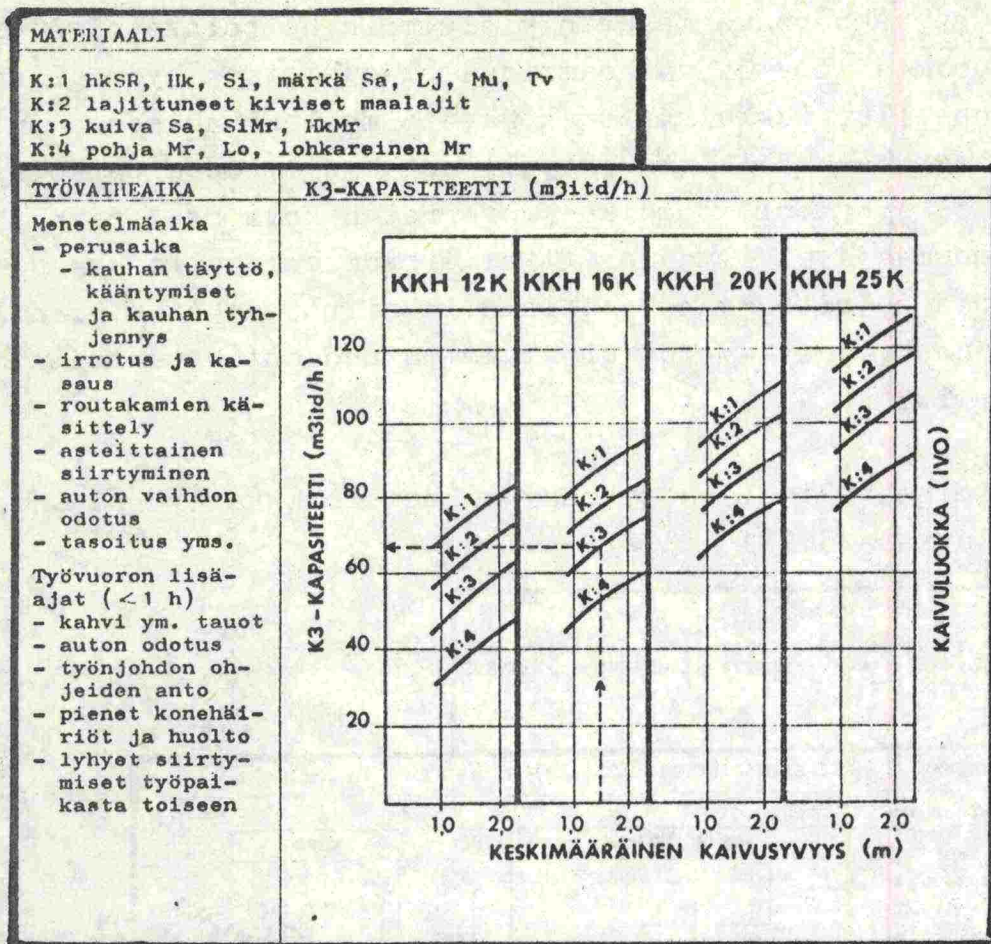
Kiertotien tekeminen kannattaa yleensä silloin, kun erityisempiä massojen siirtoa tai rumpujen rakentamista ei sen takia tarvitse suorittaa. Kunnossapitokustannukset ovat tällaisilla työmaateilla, joilla hoidetaan myös yleistä liikennettä, suuruusluokkaa 300 mk/km/vko talviolosuhteissa.

Irroitus ja kuormaus tehdään yleisimmin helppoissa olosuhteissa pyörökuormaaajalla ja vaikeammissa olosuhteissa hydraulisella kaivukoneella. Puskutraktorin käyttö maaleikkauksessa on yleensä epätaloudellista ja tullenee kysymykseen paikoissa, joissa on lyhyt siirtomatka ja verraten kova maa, niin että pyöräkuormaaaja ei ilman erillistä irroituskonetta kykene leikkaustyötä suorittamaan ja toisaalta siirtomatka on niin lyhyt, että ajoneuvojen käyttö kuljetuksiin muodostuu suhteettoman kalliiksi.

Eri toimintavälineiden työsaavutukset leikkaustyössä on esitetty kuvissa 3.2/1 - 3.2/5



Kuva 3.2/1 Pyöräkuormaaajan menetelmäkapasiteetti kuormauksessa.



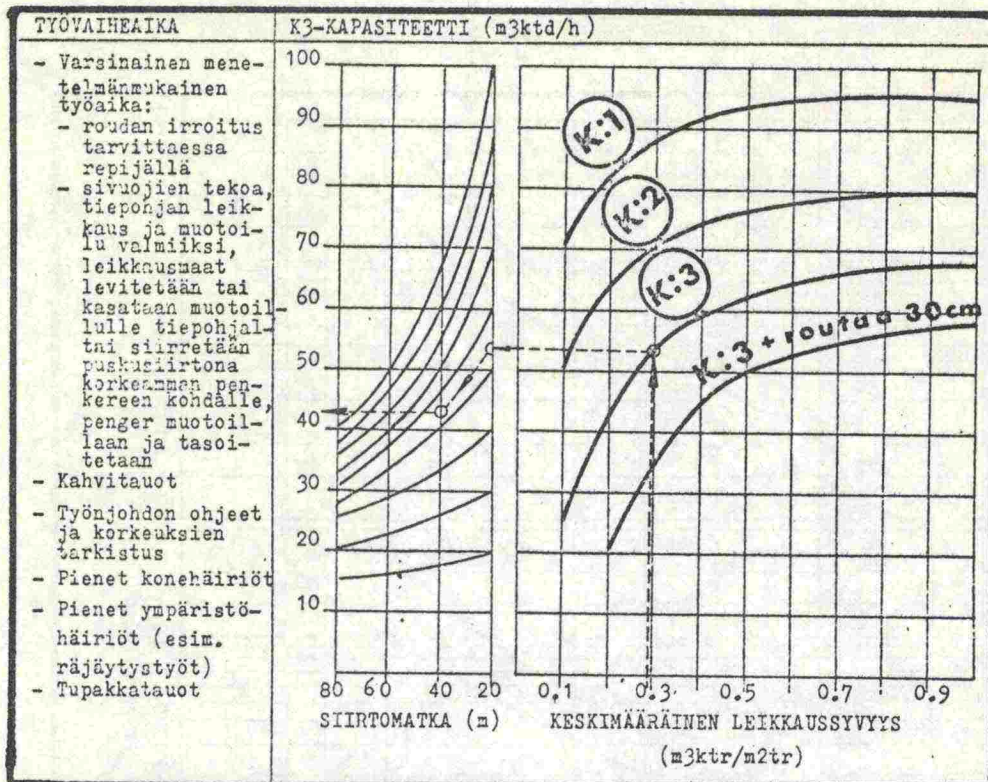
Kuva 3.2/2 Kaivukoneen työvuorokapasiteetti irroitus- ja kuormaustyössä

Kaivukoneen työsaavutusta voidaan suurentaa edellisestä (10...20 %) seuraavan tyyppisillä järjestelyillä:

- oikea automäärä koko työn ajan
- hyvä työpaikkajärjestely
 - - pieni kääntökulma
 - - autot leikkaustasossa, kone ylhäällä rintauksen päällä
 - - auton vaihto sujuu häiriöttä.
- taitava kuljettaja
- kuljetusajoneuvojen sopiva lavatilavuus

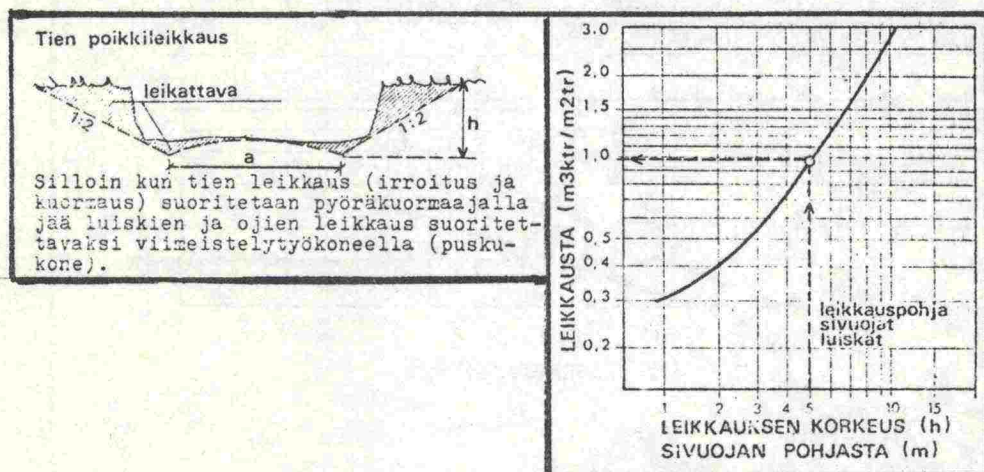
Kapasiteettiä pienentää (10 - 20 %)

- autojen jatkuva puute
- routa
- huonot työpaikkajärjestelyt
- heikkokuntainen kone
- tottumaton kuljettaja.



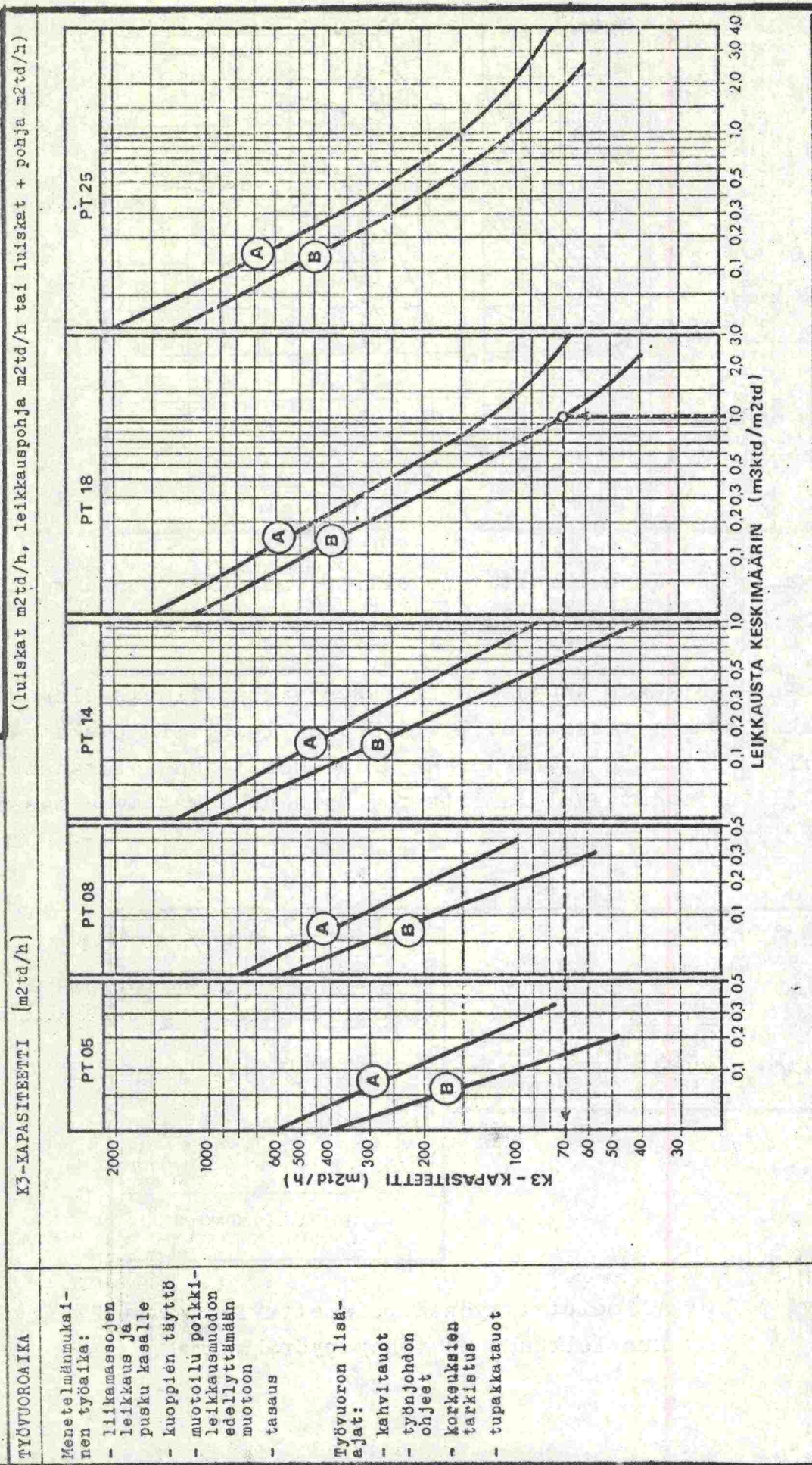
Kuva 3.2/3 Maan irroitus ja siirto raskaalla puskutraktorilla (PT 25 R)

Yleensä leikkaus joudutaan erikseen vielä viimeisteleämään ja leikkauspohja tasaamaan. Työ tehdään yleisimmin puskutraktorilla. Varsinkin pyöräkuormaajalla suoritetun leikkaustyön jäljiltä joudutaan luiskilta poistamaan huomattavia massamääriä.



Kuva 3.2/4 Viimeistelytyössä poistettavien massojen arviointi, kun leikkaus on tehty pyöräkuormaajalla

Jos leikkaus on tehty kuokkakaivukoneella, vaihtelee viimeistelyssä poistettavien massojen määrä 0 - 0,2 m³ktd/m² keskiarvon ollessa 0,1 m³ktd/m².



Kuva 3.2/5 Leikkauspohjan ja luiskien muotoilu PT:lla, työvuorokapasiteetit

3.3. Kuljetukset leikkaus- ja pengerrystyön yhteydessä

Taloudellinen kuljetusten järjestely edellyttää kunnollista massansiirtosuunnitelmaa ja oikean kuljetuskaluston valintaa ja käyttöä.

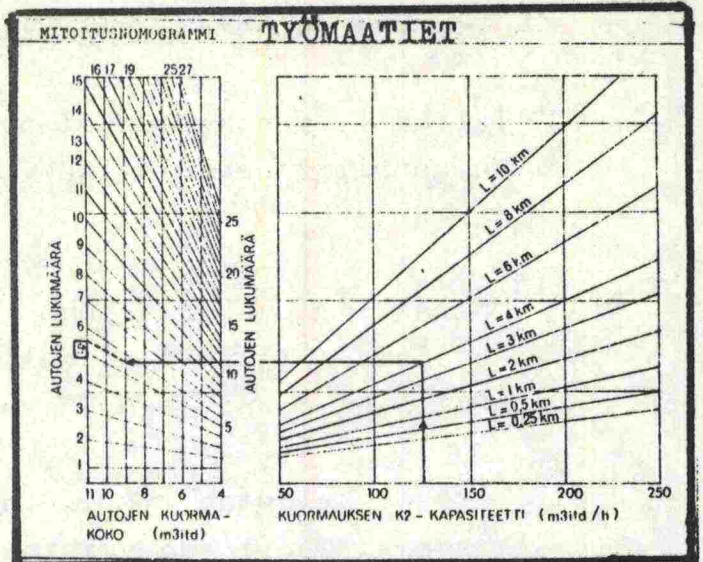
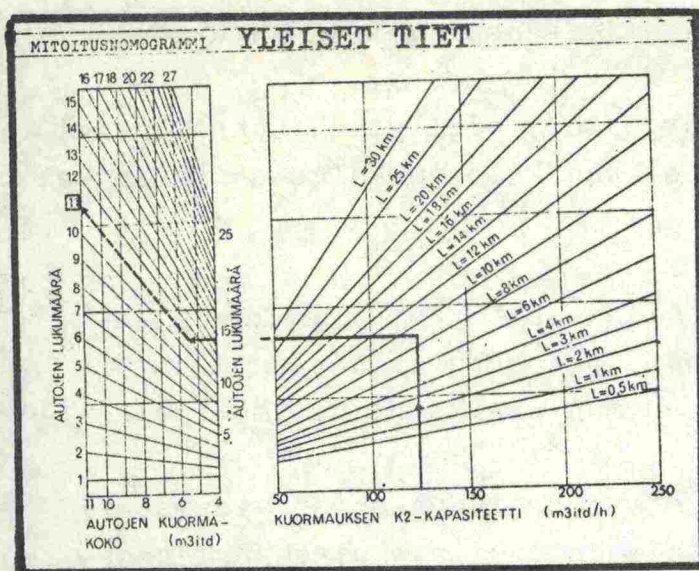
Massansiirtosuunnitelman laadinnasta löytyy alan kirjallisuudesta riittävät ohjeet ja niiden sekä talonpoikaisjärjen avulla saadaan yleensä työmaan massansiirrot optimoitua.

Kuljetuskaluston tyypin valinta sen sijaan on jo visaisempi kysymys. Teoriassa vaihtoehtoja on useita, mutta käytännössä meillä on valittavissa tavallinen 2- tai 3-akselinen kuorma-auto taikka pyöräkuormaajalla kantaminen. Dumppereita, maansiirtoautoja tai jakopyörävetoisia kuorma-autoja ei juuri ole saatavissa tai erilaiset sopimukset ja säädökset estävät niitten käytön.

Valintamahdollisuuksien suhteen ollaankin siinä tilanteessa, että lyhytten, alle 300 m:n kuljetusmatkojen kohdalla voidaan käyttää kuorma-autoa tai pyöräkuormaajaa ja pitemmillä matkoilla vain kuorma-autoa. Tämän ei kuitenkaan tarvitse merkitä sitä, etteikö kuljetuksienkin suhteen voisi tehdä taloudellisuutta parantavia toimenpiteitä. Tällaisia ovat esimerkiksi:

- kaluston määrän oikea mitoitus
- meno - paluu kuljetusten järjestäminen
- kuljetustiestön suunnittelu.

Autojen lukumäärän mitoituksessa voidaan käyttää esimerkiksi kuvan 3.3/1 tapaisia nomogrammeja tai suorittaa mitoitus laskennallisesti, kun keikka-aika on tiedossa.



Kuva 3.3/1 Kuorma-autojen lukumäärän mitoitusnomogrammeja

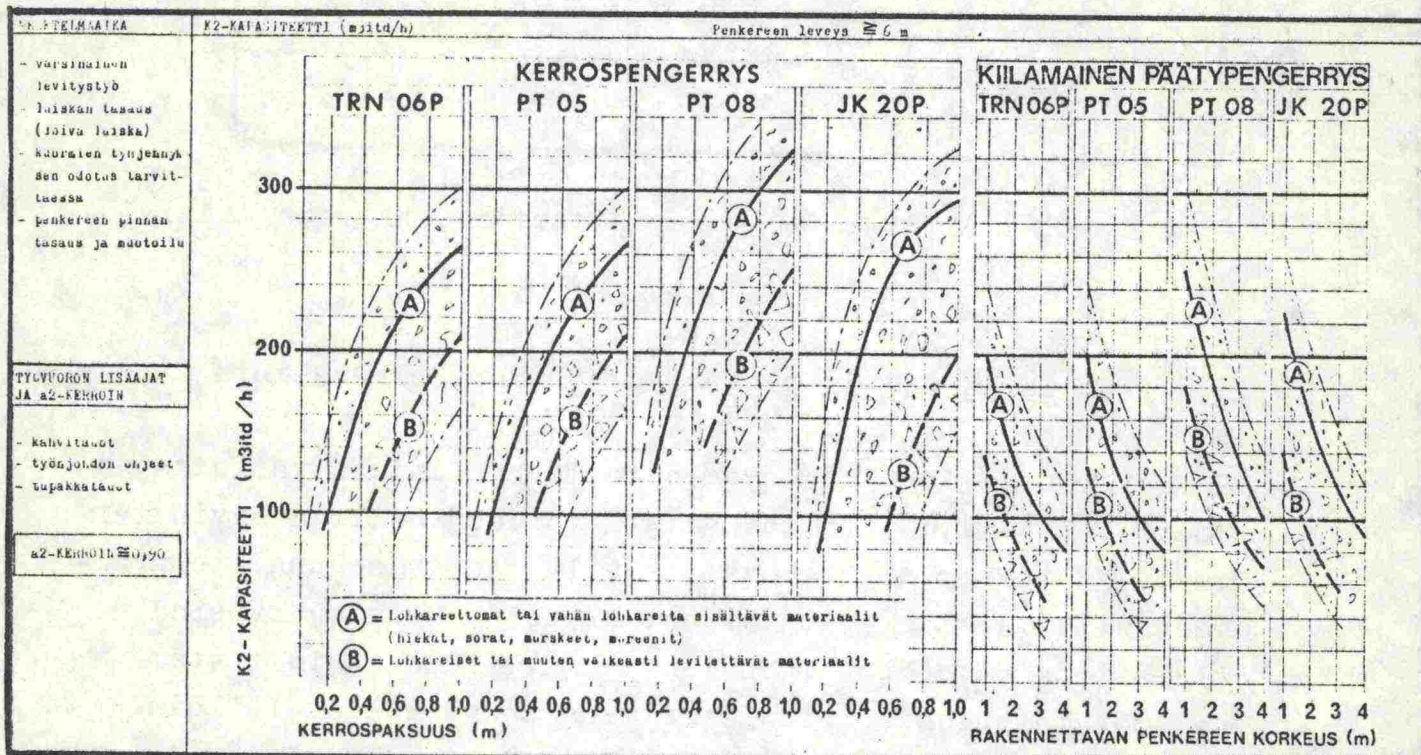
Autojen lukumäärän oikealla mitoituksella kaikissa tilanteissa on oleellinen merkitys koko leikkaus- ja pengerrystyön taloudelliselle läpiviennille. Liian pieni autojen määrä aiheuttaa yksikkökustannuksen nousun, koska kuorma - kuljetus - levitys - tiivistys ketjussa on yleensä enemmän aikaisidonnaisia kuin suoritesidonnaisia kustannuksia. Jos toisaalta autoja on liikaa, aiheuttaa se nopeasti painetta jo muutoinkin korkeisiin kuljetuskustannuksiin.

Pyöräkuormaajan käyttö kuljetuskoneena on ollut esillä jo raivauksen yhteydessä ja luvussa 2.3/4 on esitetty vakiokuntoisen pyöräkuormaajan työsaavutuksia. Lisäksi Suomessa kehitellään parhaillaan pyöräkuormaajaan erityisesti kantamiseen tarkoitettua kauhavarustusta, jolla kerrallaan siirrettävä massamäärä saadaan suuremmaksi. Lehtitietojen mukaan prototyyppi on valmis ja koeajot käynnissä.

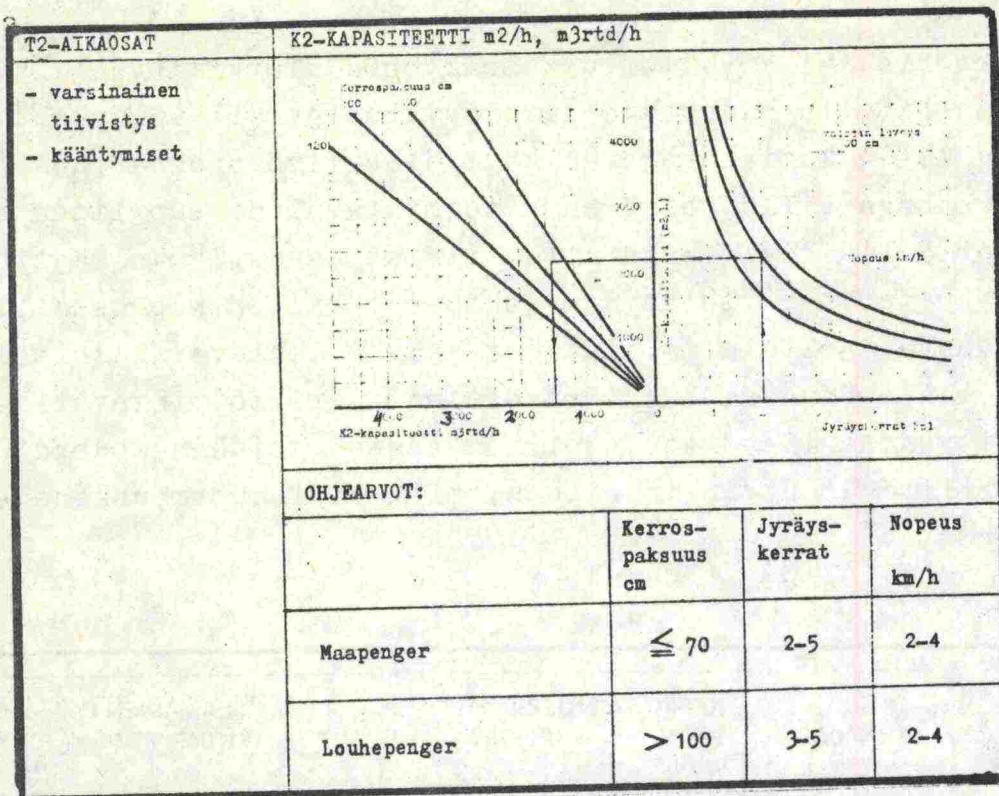
3.4. Massojen vastaanottokäsittely

Leikkaus- ja pengerrystöissä massojen vastaanottokäsittely joko penkereellä tai läjityspaikalla muodostaa työketjun viimeisen vaiheen. Tähän työhön voidaan käyttää mitä erilaisimpia maarakennuskoneita. Yleisimmin lienee käytetty pyörä-

traktoria tai kevyttä puskutraktoria. Tarvittava tiivistys on suoritettu hinattavalla täryvalssijyrällä. Puskulevyllä varustetun kumipyöräjyrän käyttö levityskoneena puolustaa paikkaansa sillä, että sama toimintaväline suorittaa sekä materiaalin levityksen että tiivistyksen. Tämän käyttö ei ole kuitenkaan yleistynyt johtuen ehkä sen huonosta liikkuvuudesta, jolloin mm. luiskat jäävät tehtäväksi toisella koneella. Kuvassa 3.4/1 on esitetty eri toimintavälineiden levityskapasiteetteja, joista yleensä voidaan todeta, että ne riittävät hyvinkin siihen, mitä yksi kuormauskone ehtii kuormata.



Kuva 3.4/1 Eräiden koneiden levityskapasiteetteja



Kuva 3.4/2 JT 10 menetelmäkapasiteetti penkereen tiivistyksessä

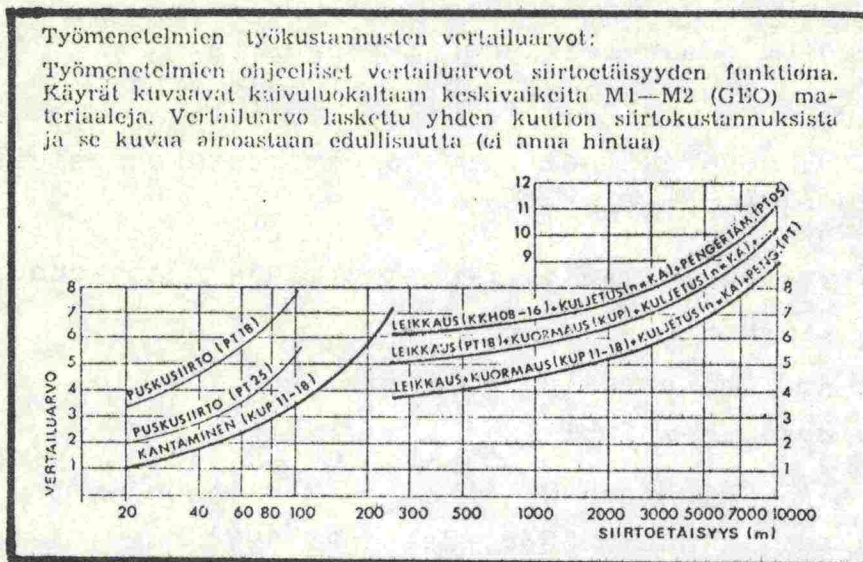
3.5. Leikkaus- ja pengerrystyön menetelmävalinta

Kulloinkin käytettävän työmenetelmän valintaan vaikuttavat useat eri tekijät. Toiset niistä voidaan hallita hyvin tarkasti ja tiedot niistä ovat selvillä jo työnsuunnitteluvaiheessa. Toiset tekijät voidaan arvioida keskimääräisinä yleistietoina. Lopullinen menetelmävalinta onkin tehtävä vaihtoehtoisten vertailulaskelmien perusteella. Tällöin valintakriteerit voivat olla

- taloudellisuus
- aikataulu
- käytettävissä oleva kulusto
- maasto-olosuhteet
- työllisyysnäkökohdat
- jne.

Yleensä urakoitsijoiden ja rakennuttajan intressien mukaista on taloudellisesti edullisimman menetelmän käyttäminen toisten tekijöiden merkityksen ollessa vähäisempi.

Esimerkkinä edullisuusvertailun suorittamisesta on kuvassa 3.5/1 esitetty käyrästä.



Kuva 3.5/1 Massansiirron työmenetelmän edullisuusvertailu.

4. YHTEENVETO

Maarakentamisen pohjatyöt muodostavat maarakentamisessa erään hankalimmista ja lopputuloksen kannalta tärkeimmistä työvaiheista. Menetelmien kannalta se ei palojoakaan poikkea muusta maarakentamisesta. Kuitenkin tällä sektorilla voidaan osoittaa tiettyjä toimintaperiaatteita, joita noudattamalla päästään taloudelliseen ja teknisesti hyvään lopputulokseen. Tällaisina voisi mainita:

- resurssien oikea mitoitus
- paikalta saatavien massojen tehokas hyväksikäyttö
- kuljetusten minimointi
- työnsuunnittelun hyväksikäyttö
- vaihtoehtojen vertailu.

Kirjallisuusluettelo

1. TVH Taloudellisuusstandardit
2. Penttinen O. Maan leikkaus ja pengerrys.
Diplomityö, TVH n:o 2845, Helsinki 1972
3. Anttila O. Hydrauliset kaivukoneet maarakennustöissä.
TVH n:o 2848, Helsinki 1972
4. TVH, järjestelytoimisto. Pyöräkuormaaja maarakennus-
töissä, TVH n:o 2872, Helsinki 1974
5. Saarela A. Maakerrosten tiivistäminen.
TVH n:o 2871, Helsinki 1974
6. Tuokkola A - Nissinen R. Maa- ja kivimassojen
kuljetukset, TVH n:o 2868, Helsinki 1974
7. Heikkinen M - Similä E. Raivausjätteiden hävittäminen
hautausmenetelmällä. Julkaisematon moniste, TVL:n
Keski-Pohjanmaan piiri, Ylivieska 1976

Apul.prof. M.O. Juhola:

MAARAKENNUSTÖIDEN POHJARAKENNUSTYÖT

1 PAALUTUKSET

Rakenteet pyritään perustamaan ensisijaisesti suoraan maan varaan, olipa sitten kyseessä milteipä mikä rakenne hyvänsä. Usein maapohjan kokoonpuristuvuus on kuitenkin niin suuri ja painumat saatavat tulla niin suuriksi, että rakennus ei kestä niitä vaurioitumatta. Rakenteet on perustettava tällaisissa tapauksissa paaluilla kokoonpuristuvien kerrosten lävitse kantavaan pohjaan. Suurten, keskitettyjen kuormien ollessa kyseessä saattaa paaluille perustaminen olla taloudellisesti kannattava ratkaisu, jos maapohjalle sallittu pohjapaineen arvo on pieni ja anturat tulevat kovin suuriksi.

Valmistustapansa mukaan voidaan paalut jakaa kahteen ryhmään:

- lyöntipaalut
- erikoispaalut, joista suurimman ryhmän muodostavat suurpaalut

Lyöntipaalu on eniten käytetty paalutyyppejä myöskin meillä Suomessa. Viime aikoina on teräsbetonipaaluja lyöty vuosittain n. 1,2 milj. jm.

Suurimman ryhmän erikoispaaluista on meillä muodostanut maahan sisään valettavat suurpaalut. Niiden määrä on vuosittain ollut n. 5 % lyöntipaalujen määrästä.

Erikoispaalut soveltuvat käytettäväksi yleensä vain määrättyissä olosuhteissa, jolloin kustannusten ja työnsuorituksen kannalta päästään edulliseen lopputulokseen.

1.1 Lyöntipaalut

Vuonna 1972 otettiin käyttöön Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen laatimat Lyöntipaalutusohjeet, LPO-72./1/, jotka pyrkivät sekä ohjaamaan että kehittämään lyöntipaalutusta siten, että paalutustöiden suoritustason nousun myötä paaluille sallittuja jännityksiä myös voidaan nostaa. Kun valmistetaan laadullisesti hyviä paaluja ja ne lyödään ammattitaidolla maahan tar-
kan valvonnan alaisena sekä työn lopputulos voidaan tarkastaa, on paaluille mahdollista sallia tavaromaista suurempia kuormia. LPO-72 tehtäessä onkin pyritty kehitystä pitämään mielessä siten, että voitaisiin päästä entistä suurempaan taloudellisuuteen. Kehitystyön tuloksena on syntynyt joukko parannuksia ja uutuuksia. Toisaalta myös ympäristötekijät asettavat paalutustöille entistä enemmän vaatimuksia. Mm. melu ja sen torjunta ovat tulleet ajankohtaisiksi.

1.11 Paalutuskoneiden kehittyminen

Yleisin työkone lyötäessä paaluja on vapaasti putoavalla järkäleellä varustettu paalutuskone, jossa peruskoneena on kaivinkone. Järkäleen pudotuskorkeuden tarkka määrittäminen on vaikeata, kun se tapahtuu silmämääräisesti käsityönä. LPO-72:ssa loppulyöntisuositus mm. edellyttää pudotuskorkeuden määrittämistä 50 mm tarkkuudella. Järkäleen pudotuskorkeuden tulee myös pienentyä lyönnin loppuvaiheessa sitä mukaa, kun paalun painuma yhtä lyöntiä kohti pienenee.

Järkäleen iskiessä paalun päähän paaluun siirtyy eräänlainen energiapaketti, joka kulkee iskuaalto-
na äänen nopeudella paalua pitkin sen kärkeen. Vas-

taavaan tapaan myöskin järkäleessä iskuaalto siir-
tyy järkäleessä ylöspäin ja heijastuu takaisin. Kun
järkäle paaluun verrattuna on paljon lyhyempi, syn-
tyy järkäleessä useita heijastuksia ja energian
syöttö paaluun on jaksottainen, ja iskuaallon muoto
periaatteessa kuvan 1 mukainen. Siinä on pitkän-
omainen, vähitellen vaimeneva häntä /2/.

Riippuen paalun kärjen edessä olevasta maa-aineksesta
ja sen aiheuttamasta tunkeutumisvastuksesta iskuaal-
to heijastuu paalun kärjessä eri tavoin. Jos alla
on esim. pehmeätä savea, iskuaalto siirtyy maahan
ikäänkuin vetäen paalun alapäätä mukaansa. Jos isku-
aallon intensiteetti on riittävän suuri ja kyseessä
on 15...20 m pitkä paalu, saattaa paalun päästä veto-
jännitysten ansiosta katketa erilleen 2...3 m pitui-
nen pätkä. Lyöntipaalutusohjeessa onkin tältä varalta
määräys, jonka mukaan pudotuskorkeutta on pienennet-
tävä siten, että painuma iskua kohti ei ylitä 150 mm.

Jos kärki osuu suurta lohkaretta tai kalliota vasten
ja paalu pysähtyy, heijastuu iskuaalto puristusaaltona.
Yhdessä tulevan aallon kanssa saattaa heijastuva aal-
to muodostaa summa-aallon, jonka aiheuttama jännitys
paalussa saattaa olla suurempi kuin paaluaineksen
murtolujuus, kuva 1 ja 2. Paalun kärki murtuu ja paalua
voidaan lyödä kallion sisään. Eräissä tapauksissa
on paalua lyöty kallioon jopa parikymmentäkin metriä,
ennenkuin on uskottu tämä tosiasia. Pudotuskorkeu-
den täsmällisen määrittämisen kehittämiseksi onkin
viime aikoina ponnisteltu eri suunnilla, ja mm. py-
ritty automatisoimaan lyöntityön suoritusta.

Iskuaaltojännityksen suuruutta paalussa lyönnin ai-
kana voidaan tarkkailla joko paaluteräksiin tai paa-
lun pintaan liimatuilla jännitysantureilla. Antu-
rien mittaama jännitysimpulssi johdetaan ohjaamaan
paalutuskoneen vintturia siten, että järkäleen pu-
dotuskorkeus säätyy automaattisesti annettujen ohje-
arvojen mukaisesti. Kuvat 3 ja 4.

Iskuaaltojännityksen pitämiseksi paalussa sallituissa rajoissa on kehitetty erikoisrakenteisia iskutyynyjä. Tämä iskutyyny päästää lävitseen vain määrällisen iskuaallon riippumatta pudotuskorkeudesta ja paalun päähän tuleva energiapaketti on siis aina yhtä suuri.

Iskutyynyn merkitys paalutuksessa onkin erittäin tärkeä, erikoisesti sen kimmoiset ominaisuudet. Jos tyyny on liian kova, on iskuaallon huippu erittäin terävä ja aallon kesto aika lyhyt. Jos tyyny on taasen liian pehmeä, jää iskuaaltojännitys liian pieneksi, vaikka iskuaallon vaikutusaika on pitkä, eikä paalu tunkeudu maahan, kuva 5. Erikoisrakenteinen iskutyyny pyrkii pitämään jännityskuvion mahdollisimman tasaisena ja kuten sanottu lisäksi riippumattomana järkäleen pudotuskorkeudesta.

Paalujen lyöntiin on kehitetty dieselperiaatteella ja räjähdyspaineella toimivia Delmag-junttia, joita Suomessakin on käytössä. Vanhemmista malleista on kuitenkin puuttunut säätelymahdollisuus. Juntan iskuvoima on sitä suurempi, mitä suurempi on tunkeutumisvastus paalun kärjessä, siis juuri päinvastoin kuin pitäisi olla. Seurauksena on ollutkin usein paalun kärjen särkyminen.

Uusissa Delmag-malleissa on puute korjattu ja dieselnesteen syöttöpumppu on rakennettu portaattain säädettäväksi siten, että paalun painuman pienentyessä myös iskutehoa voidaan vastaavassa määrin pienentää. Näin onkin saatu hyviä tuloksia, kuva 6. Delmag-junttia on nykyisin laaja valikoima. Suurimmalla tyypillä Delmag D-55 on lyöty mm. merimerkeiksi Pohjanlahdella \varnothing 2.6...3.5 m putkia, pituus jopa 28 m, kuva 7.

Yleisimpänä paalutuskoneena käytetään nykyisin vaijeritoimisia kaivinkoneita. Tällaisten koneiden valmistaminen on kuitenkin jo lähes päättynyt. Sen vuoksi on pyritty kehittämään paalutuslaitteita liitettäväksi nykyisin käytössä oleviin hydraulisiin kaivinkoneisiin, kuva 8. Samassa yhteydessä on myöskin pyritty vapaasti putoava järkäle vaijereineen korvaamaan hydraulisesti toimivalla järkäleellä. Järkäle nostetaan hydraulinesteen avulla määräkorkeuteensa ja annetaan sitten vapaasti pudota. Pudotuskorkeuden säätö suoritetaan erittäin tarkasti ja säätö määrittää paaluun syntyvän iskuaaltojännityksen perusteella käyttämällä teräksiin taikka paalun pintaan kiinnitettyjä jännitysantureita, samaan tapaan kuin edellä on esitetty.

Hydraulinen paalutuskone on johdonmukaista jatkoa hydraulisten porakoneiden ja hydraulisten murtokankien kehitykselle.

Täryvasara edustaa uusinta paalujen ja teräsuralankujen lyöntilaitteistoa, kuva 9. Erikoisesti pienikivisessä ja lohkareettomassa maassa uralankkujen lyönti samoin kuin poisnosto sujuu nopeasti. Ympäristölle aiheutuva melu on yleensä vähäinen.

12 Melun vaimentaminen

Melu on muodostunut nykyisin huomattavaksi ongelmaksi tehtäessä paalujen tai ponttien lyöntiä kaupungeissa tai yleensä asutuskeskuksissa. Monissa rakennusjärjestyksissä on asetettu melulle yläraja 75...85 dB. Nämä raja-arvot ylitetään huomattavasti paalutettaessa vapaasti putoavalla järkäleellä tai Delmag-juntalla. Sen vuoksi on jouduttu kehittämään melusuojalaitteita, paalu ja lyöntilaitteisto ikään kuin kapseloimaan joko teleskooppisesti toimivalla tai laatikkomaisella, avattavalla suojarakenteella, kuva 10. Melusuojarakenteet aiheuttavat luonnollises-

ti haittaa työlle, mutta melu voidaan tehokkaasti vaimentaa.

Tehtäessä tukiseiniä teräsuralankuista on lankkujen lyönnin asemasta siirrytty käyttämään hydraulista teräslankun maahan painamista siten, että vastapainona käytetään raskasta laitteistoa sekä jo aikaisemmin maahan painettujen **teräslankkujen** vetovastusta.

1.13 Teräsbetonipaalujen jatkaminen

Teräsbetonipaalujen jatkaminen on nykyisin tavanomaista, ja paalujen sallitun kuorman kasvaessa myöskin vaatimukset jatkoksiin nähden ovat kasvaneet. Jatkosrakenteen tulee olla sellainen, ettei sen vuoksi tarvitse vähentää paalun kuormaa. LPO-72:ssa onkin esitetty tällaisille ns. jäykkäjatkoksille asetetut vaatimukset. Sen pitää periaatteessa olla lujuus- ym. ominaisuuksiltaan vähintään paalun veroinen. Sen tulee olla helposti lukittavissa, olla korroosion kestävä. Jatkos ei saa löyhtyä eikä vaurioitua ankarankaan lyöntityön yhteydessä.

Jäykkäjatkokset on tutkittava ennen niiden tyyppi- hyväksyntää LPO-72:ssa lähemmin esitettävällä tavalla. Jatkoksen tulee 5000 lyönnin jälkeen jännityksen ollessa väh. $17,5 \text{ MN/m}^2$ vastata lyömättömän ja jatkamattoman paalun lujuus- ym. ominaisuuksia. Jatkos ei saa myöskään aueta enempää kuin että kulman muutos $< 0,6^\circ$ taivutettaessa jatkoksella varustettua paalua 3 m jännevälillä ja kuormitettaessa sitä jatkoksen kohdalla 1 m paalun painolla. Jatkoksen tulee kestää myöskin 1000 lyönnin aiheuttamat rasitukset, kun iskuaallon jännitys on väh. $22,5 \text{ MN/m}^2$ ja vastata lyömättömän, jatkamattoman paalun lujuusominaisuuksia. /1/.

Jatkoksien laatuun LPO-72:n mukaan on kiinnitettävä huomiota myöskin jatkuvan laadun tarkkailun muodossa. Jatkosrakenteiden valmistajien pitäisikin solmia laadunvalvontasopimus esim. VTT:n kanssa.

Selvitettäessä eräitä jatkosvaurioiden syitä, on todettu jatkosrakenteissa usein esiintyvän piirustuksissa esitettyjen toleranssien ylityksiä. Erikoiden vakavia ovat tässä mielessä jatkospintojen epätasaisuudet. Jos jatkosten päätypinnat ovat kuperia tai koveria, kuva 11, keskittyy iskuaaltojännitys pienelle pinnalle ja johtaa betonin paikalliseen murskautumiseen. Seurauksena voi olla muodonmuutoksia liitoselimissä. Eräissä tapauksissa on todettu näin vaurioituneen jatkoksen muistuttavan enemmän niveltä kuin jäykkäjatkosta. Tämän vuoksi Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen lyöntipaalutuskomitea, joka tähän asti on toiminut jatkoksia hyväksyvänä instanssina, onkin kiinnittänyt vakavaa huomiota jatkosten laatuun ja niiden rakenteiden toleransseihin.

Erilaisia jäykkäjatkoksia on markkinoilla jo varsin monia. Ruotsalaiset ABB- ja Herkules-jatkokset sekä kotimainen A-jatkos ovat vanhimmat ja tunnetuimmat, kuva 12 ja 13. Koekäytössä on ruotsalainen, valuteräksestä tehty JF-jatkos. Markkinoille tulossa on kehitystyön loppuvaiheessa oleva kotimainen KRR-jatkos, kuva 14. Kehitteillä on lisäksi vielä pari muutakin jatkostyyppiä. Tuntuu siltä, että pitäisi rajoittaa suhteellisen harvoin jatkostyyppeihin, jotta tarpeettomalta kirjavuudelta välttyttäisiin.

1.14 Puupaalujen jatkokset

Puupaalujen käyttö on vähentynyt talonrakennuksessa. On siirrytty entistä enemmän teräsbetonipaaluihin. Vesirakenteissa, penger- ja tukipaalutuksissa sekä

paikoissa, missä ollaan varmoja paalujen säilymisestä lahoamattomina, puupaaluilla on edelleen vankka asemansa.

Pitkät paalu on totuttu jatkamaan käyttäen \emptyset 6"...8" putkea tai käyttäen hollihakoja ja asettamalla tyvet vastakkain. Ongelmana on ollut paalun jatkoksen vaatimaton veto- ja taivutuskestävyys. Myöskin puupaalujen jatkaminen teräsbetonipaalulla silloin kun pohjavedenpinnan korkeusasema tällaista edellyttää, on usein tuottanut vaikeuksia. Eräänä uutena jatkosrakenteen ratkaisuna on tullut markkinoille Ruotsissa kehitetty göteborgilainen jatkos, jonka pääosan muodostaa \emptyset 150 mm läpimitäinen ja n. 0,5 m pituinen putki. Sen molempiin päihin on asennettu erikoinen kiristyslaite, joka aikaansaa jatkokselle melkoisen vetolujuuden, kuva 15. Puupaalun jatkaminen on esitetty kuvassa 16 ja valmiiksi teräsbetonipaaluihin kiinnitettyjä jatkosputkia kuvassa 17.

1.15 Lyhyet paalut

Pohjarakennuksen normien samoin kuin LPO-72 mukaisesti on paalun sallittua kuormaa pienennettävä, jos paalun pituus on < 5 m. Alle 3 m pituisia paaluja pitäisi välttää. Monesti kuitenkin tulee esille tapauksia, jolloin pitäisi käyttää 3 m lyhyempiäkin, eikä haluttaisi myöskään sallittua paalukuormaa vähentää, koska paalumäärä lisääntyy suhteettomasti. Asiantilan korjaamiseksi on markkinoille tullut useita ns. stabiloituja paaluja. Paalujen toiminta ja paikallaan pysyminen pyritään varmistamaan ympäröimällä, stabiloimalla paalun yläosa eri tavoin betonilla.

miota on kiinnitettävä talviaikaan lämpösuojaukseen, koska routa erittäin helposti nostaa paalun ja seurauksena saattaa olla hyvinkin vakavia vaurioita.

1.2 Maan sisään valettavat suurpaalut

Suurpaaluilla tarkoitetaan yleisnimityksenä paaluja, joiden läpimitta on ≥ 500 mm. Näistä paaluista suurimman ryhmän muodostavat maan sisään valettavat paalut, joiden suunnittelu- ja valmistusohjeet ovat valmistumassa Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen suurpaalukomitean toimesta. Nämä Suurpaaluohjeet 1977 (SPO -77) koskevat maahan, eri tavoin työputkia käyttäen, aikaan saatuun reikään valmistettuja suurpaaluja. Ohjeet tulevat valmistumaan lopullisesti tämän vuoden aikana ja vast'ikään Inskon toimesta järjestettiin suurpaaluja ja Suurpaaluohjeita koskenut kurssi./3/.

Suurpaaluohjeet on pyritty tekemään kehitysystävällisiksi samaan tapaan kuin lyöntipaaluohjeetkin. Uusille ratkaisuille ja parannuksille ei aseteta esteitä, mutta lopputuloksen pitää olla ehdottomasti kunnollinen ja vastata sitä mihin pyritään. Jos geoteknillisin selvityksin pohjasuhteet selvitetään riittävän luotettavasti ja tarkasti, paalut tehdään huolellisesti noudattaen ohjeen määräyksiä ja työn lopputulos vielä tarkastetaan, voidaan sallittuja jännityksiä korottaakin ohjeessa esitetyistä.

Ohjeet sisältävät määräyksiä ja ohjeita pohjatutkimuksista ja niiden suorittamisesta, suurpaaluperustusten suunnittelussa sekä geoteknillisen, että rakennussuunnittelun osalta, paalun sallituista kuormista sekä paalutustyön suorituksesta ja tarkastustoimenpiteistä, joita on tehtävä työn eri vaiheissa.

Maan sisään tehtävät paalut voidaan jakaa kolmeen pääryhmään riippuen siitä, miten reikä maahan on aikaansaatu ja miten se on tuettu:

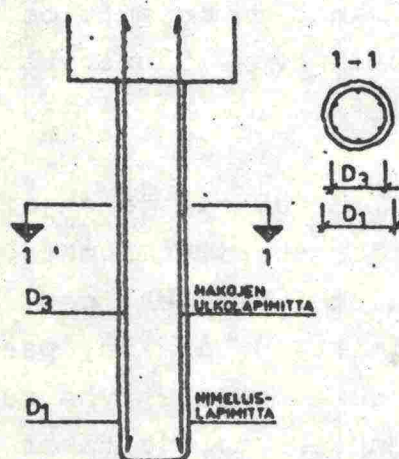
- maahan kaivamalla upotetun , alapäästään avonaisen työputken avulla tehtävät paalut,
- maahan lyödyn, alapäästään suljetun työputken avulla tehtävät paalut ,
- maahan tehtyyn ja bentonit-lietteen tai veden ylipaineen avulla tuettuun reikään valettavat paalut.

1.21 Kaivinpaalut

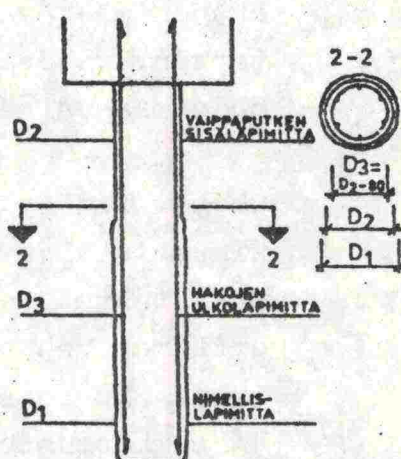
Ensimmäiseen ryhmään kuuluvista paaluista on Suomessa yleisin kaivinpaalu, joita on meillä tehty jo vuodesta 1938 lähtien. Käytettävissä olevien kaivinpaalujen läpimitat vaihtelevat 500...1500 mm. Paalu voidaan tehdä kallioon, moreenimuodostumiin tai kitkamaakerrostumiin tukeutuvina tai kitkapaa-luina. Paaluille sallittu kuorma määräytyy perusjän-nityksen 5 MN/m^2 pohjalta ohjeessa lähemmin määritel-tävin perustein.

Suurpaaluohjeessa esitetään kaivinpaalujen ohjeelli-sia mittoja, allaoleva kaavio, jotta suunnittelussa tarpeettomilta ristiriitaisuuksilta välttyttäisiin.

KAIVINPAALU ILMAN
VAIPPAPUTKEA



KAIVINPAALU VARUSTETTUNA
VAIPPAPUTKELLA

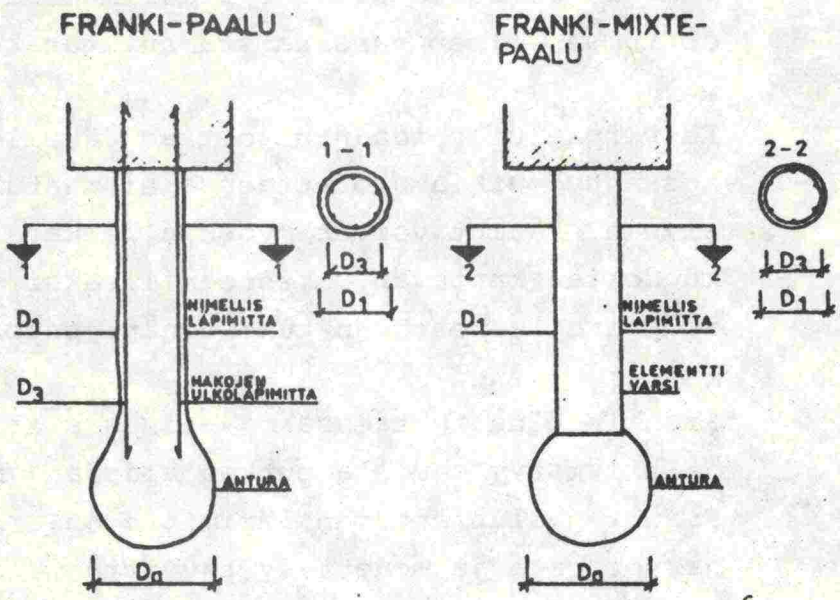


PAALUN NIMELLISLÄPIMITTA TYÖPUTKEN ULKOLÄPIMITTA		D ₁ mm	1500	1200	900	700	600	500
VAIPA-TON PAALU	RAUDOITUKSEN LÄPIMITTA	D ₃ mm	1330	1050	750	580	500	400
	HAKOJEN ULKOLÄPIMITTA	D ₃ mm	1330	1050	750	580	500	400
VAIPALLINEN PAALU	VAIPPAPUTKEN SISÄ-LÄPIMITTA	D ₂ mm	1330	1050	750	580	500	400
	RAUDOITUKSEN LÄPIMITTA HAKOJEN ULKOLÄPIMITTA	D ₃ mm	1250	970	670	500	420	320

1.22 Frankipaalut

Maahan lyödyn alapäästään suljetun työputken avulla tehtävistä paaluista on meillä yleisin Franki-paalu, joita Suomessa on ryhdytty tekemään 1950-luvun alusta lähtien. Meillä käytetään Frankipaalua tehtäessä Ø 500...520 mm työputkia. Paalun varsi voidaan valaa työputken upotuksen yhteydessä tehdyn anturan päälle suoraan maahan, jolloin puhutaan Franki-paalusta. Anturan päälle voidaan asenta valmis varsielementti, jonka läpimitta on 420 mm, ja jolloin puhutaan Franki-mixte-paalusta.

Ohjeessa annetaan suosituksia Franki-paalun valmistamisesta sekä ohjeet ja määräykset paalulle sallittavista kuormista eri tapauksissa. Franki-paalu voidaan tehdä kallioon, moreenimuodostumaan tai kitkamaakerrokseen tukeutuvana sekä kitkapaaluna. Frankipaalujen ohjeellisia mittoja on esitetty allaolevassa kaaviossa.



D_1 = paalun varren nimellisläpimitta
 D_3 = raudoituksen läpimitta (= hakojen ulkoläpimitta)
 D_0 = anturan läpimitta
 d_h = hakoteräksen läpimitta

PAALUN OSIEN LÄPIMITAT	FRANKI-PAALU		FRANKI-MIXTE-PAALU
D_1 , mm	520	500	420
$(D_3 - 2d_h)$, mm	420	400	350
D_0	Suuruus riippuu maapohjasta ja käytetystä		

Bentoniittipaalut

1.23 Maan sisään valettavien paalujen käyttömahdollisuudet

Maan sisään valettavat paalut soveltuvat yleensä käytettäväksi olosuhteissa, joissa työn toteutuksen ja kustannusten kannalta päästään edulliseen kokonaistulokseen, mm. milloin kyseessä ovat suuret kuormat, kuten esim. siilot, sillat jne., kivinen tai lohkareinen maapohja tai paksujen täytteidien läpäisy.

Suuriläpimittaisia paaluja käytettäessä tulevat paaluanturat pienemmiksi kuin, jos käytetään lyöntipaaluja. Usein valitsemalla esim. sopiva kaivinpaalun läpimitta \varnothing 500...1500 mm voidaan kenties yhdellä paalulla siirtää pilarikuorma kantavaan muodostumaan ilman varsinaista anturarakennetta.

Kaivinpaalut voidaan sijoittaa lähelle toisiaan, koska työputkia upotettaessa ei maata työnnetä sivuun. Paalut voivat myöskin leikata toisiaan ja muodostaa kantavan rakenteen lisäksi maa- ja vedenpainetta kestävän tukiseinän, patoseinän.

Frankipaalua tehtäessä maa-aines siirtyy sivulle ja tiivistyy samalla putken alapään ympärille. Franki-paalun anturan läpimitta on, riippuen pohjasuhteesta ja menettely tavoista, tiiviissä kitkamaassa 1.2...1.5 ja löyhässä kitkamaassa 1.5...2.5 kertainen verrattuna paalun varsinaiseen läpimittaan. Normaalisti on Franki-paalujen keskinäisen välimatkan oltava 1,5 m, jotta paaluryhmissä viimeksi tehtävien paalujen lyönti ei vaikeutuisi

ensiksi lyötyjen paalujen aiheuttaman maakerroksen tiivistymisen vuoksi eikä vahingoitettaisi aikaisemmin valettuja paaluja. Työputken upotuksen yhteydessä syntyy myös tärinää, joka on syytä ottaa huomioon.

2 MAAPOHJAN VAHVISTAMINEN

Monesti maapohja on rakenteeltaan niin löyhä tai sen kokoonpuristuvuus niin suuri, että sen varaan ei rakenteita ilman muuta voida perustaa, vaan on käytettävä paaluja. Maapohjaa voidaan myöskin vahvistaa eri menetelmin siten, että kantavuuden ja muodonmuutosten kannalta saavutetaan riittävä varmuus. Käytettävät menetelmät voidaan jakaa riippuen siitä, onko kyseessä koheesio- vai kitkamaa.

2.1 Koheesiomaan vahvistaminen

Koheesiomaan kantavuus- ja muodonmuutosominaisuuksien parantamisessa tulevat kysymykseen lähinnä syvälle koheesiomaahan ulottuvat vahvistamistoimenpiteet.

Näistä mainittakoon mm:

- vacuum-menetelmä
- elektro-osmoosi
- elektro-kemialliset menetelmät
- lämpöteknilliset menetelmät
- lämpöteknilliset menetelmät
- kalkkipilarit
- pystyjoitus

Näistä menetelmistä suurimman laajuuden ovat saavuttaneet kaksi jälkimmäistä, kalkkipilarit ja pysty-ojitus. Muista menetelmistä mm. vacuum-menetelmä on tilapäisenä vahvistamismenetelmänä myös käytössä. Elektro-kemiallisilla menetelmillä, joihin liittyy injektoinnin suorittaminen hienorakeisessa maassa sähkövirran avulla, voitaneen tulevaisuudessa ratkaista monia hyvinkin hankalia tehtäviä. Menetelmät ovat vielä laboratorioasteella, mutta tulokset näyttävät varsin lupaavilta. /2/.

2.11 Kalkkipilarit

Kalkin käyttö maakerroksen pintaosan lujittamisessa on jo kauan tunnettu menettelytapa. Lujitusvaikutus ulottuu yleensä enintään 0,5 m syvyyteen. Syvemmälle ulottuvaa lujittamista on kokeiltu jo vuonna 1963 Amerikassa tekemällä n. 3 m syvyyteen \varnothing 150 mm reikiä, jotka täytettiin sammuttamattomalla kalkilla. Menetelmä ei kuitenkaan tuottanut toivottua tulosta, koska kalkki pääsi saveen kanssa kosketuksiin vain pilarin ulkopinnalla. Myöhemmin kalkki on pyritty sekoittamaan saveen erilaisin laittein, jolloin kalkin vaikutus huomattavasti tehostuu. Suurena esteenä on kuitenkin ollut sopivan sekoitusmenetelmän ja -laitteiston kehittäminen. Ruotsissa rakennettiin v. 1974 käyttökelpoinen kalkkipilarikoneen prototyyppi, joka pystyi tekemään saveen 10 m pituisia pilareita läpimitaltaan n. 500 mm. /4/5/.

Tehtäessä kalkkipilareita sekoitetaan saveen sammuttamatonta kalkkia 6...12 % saveen kuivatilavuuspainosta siten, että maahan muodostuu kalkkia sisältäviä pilareita.

Lujittuminen tapahtuu kolmen erilaisen reaktion vaikutuksesta:

- sammuttamaton kalkki, kalsiumoksidi (CaO) imee savessa olevaa vettä, jolloin siitä tulee kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2). Kuivumisen johdosta savi samalla lujittuu. Reaktio tapahtuu välittömästi kalkin sekoittamisen jälkeen.
- ioninvaihdosreaktiossa sitoutuu sammutettu kalkki savihiukkasten kanssa muodostaen suurempia rakeita (agregaatteja). Reaktion tarvitsema kalkkimäärä on n. 1 % saven kuivatilavuuspainosta ja reaktio tapahtuu yleensä ensimmäisen viikon aikana
- putsolaanireaktion seurauksena muodostuu geeli, joka sitoo saviagregaatit betonintapaiseksi aineeksi. Geelin muodostuminen tapahtuu kiivaimmin ensimmäisinä kuukausina ja hidastuu vähitellen ajan mukana. Kalkkipilari saavuttaakin tämän johdosta suurimman osan lujuudestaan jo muutaman kuukauden kuluttua sen valmistumisesta. Geelin muodostusta ja samalla kalkkipilarin lujittumista ei haittaa kalkkipilarin häiritseminen. Esim. Ruotsissa on kuukauden vanhoja kalkkipilareita häiritty sekoittamalla ja todettu, ettei tällä ole vaikutusta lujittumiseen. Geelin muodostuminen vaatii kalkkia 1... 2 % saven kuivatilavuuspainosta.

Periaatteessa kalkin sekoittaminen saveen tapahtuu kuvan 19 mukaisesti siten, että eräänlaisen, onttoon varteen kiinnitetty vispilää muistuttava sekoitussiiپی painetaan maahan haluttuun syvyyteen ja samalla pyöritetään siten, että jokaista kärjen kierrosta kohden kärki painuu n. 100 mm. Varsinainen pilarin teko ja kalkin sekoittaminen tapahtuu ylösnostovaiheessa siten, että kärjen pyörimissuuntaa muutetaan, nostonopeus säädetään n. 20 mm kierrosta kohti ja samalla ontton varren kautta kärkikappaleen kohdalla

olevasta reiästä puhalletaan saveen $150...200 \text{ kN/m}^2$ ilmanpaineella hienojakoista sammuttamatonta kalkkia. Kalkin määrää voidaan säädellä laitteistoon kuuluvalla annostelijalla.

Kalkkipilarien valmistamiseen on kehitetty kone kauhakuormaajasta. Kauhan tilalle on asennettu hydraulisesti toimiva porauslaite mastoineen ja koneen perässä on vedettävä kalkkisäiliö, Alimak, kuva 20. Pilarin valmistusperiaate on esitetty kuvissa 21 a ja b.

N. 10 m pituisen pilarin keskimääräinen valmistusaika on 10 min. Yhdessä työvuorossa valmistuu näin ollen pilaria $200...300 \text{ m}$ riippuen työkohteen olosuhteista. Kustannusten voidaan arvioida olevan tällä hetkellä $18 - 26 \text{ mk/m}$ riippuen olosuhteista ja työkohteen suuruudesta. Kalkin osuus hinnasta on $15...20 \%$.

Sanonta kalkkipilari kuvaa menetelmää itse asiassa harhaanjohtavasti. Olisi parempi puhua stabiloidusta vyöhykkeestä, jossa kalkkipilarikenttä toimii yhtenä kokonaisuutena. Paalun ja kalkkipilarin välillä on oleellinen ero. Maan kokoonpuristuessa maarakeet pääsevät liukumaan pitkin paalun vaippaa. Kalkkipilarilla sensijaan ei ole varsinaista vaippaa, vaan sen ympärillä on vyöhyke, missä leikkauslujuus muuttuu stabiloidun saven lujuudesta stabiloimattoman saven lujuudeksi.

Kalkilla lujitetun saven lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet paranevat edullisissa olosuhteissa $5...10$ -kertaisiksi verrattuna saven luonnollisiin ominaisuuksiin. Kalkkipilarin yläosa kerää ympäriltään kuormituksia. Pilarin alaosan kautta kuormitus

siirtyy jälleen saveen, kuva 22.

Tärkeämpää kuin yksittäisen pilarin toiminta on tarkastella pilarikenttää kokonaisuutena. Kalkkipilarit toimivat savessa kuin teräkset betonissa. Kalkkipilarikenttää kuormitettaessa tasaisella kuormalla puristuu pilarin välissä oleva savi yhtä paljon kuin pilaritkin edellyttäen, ettei pilarien välinen etäisyys ole kovin suuri, max. 1,5 m.

Kalkilla stabilointi vaikuttaa saven ominaisuuksiin lähinnä kahdella tavalla. Lujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet paranevat ja veden läpäisevyys kasvaa. Kalkkipilareilla pyritään pääasiassa:

- pienentämään painumia ja painumaeroja pienillä kuormilla
- nopeuttamaan ja pienentämään painumia sekä parantamaan stabiliteettiä suurilla kuormilla
- tasoittamaan painumaeroja paalutetun ja paaluttamattoman rakenteen välillä sekä vähentämään maan paalulle aiheuttamia kuormituksia.

Konsolidaatiopainumat voivat tapahtua joko vain stabiloidussa kerroksessa tai stabiloidussa kerroksessa ja sen alla olevassa savikerroksessa, kuva 23. Stabiloidun vyöhykkeen kokoonpuristuminen tapahtuu kahdella tavalla riippuen siitä ylittääkö pilarikuorma pilarin myötökuorman. Kuormasta osa siirtyy pilareille osa pilarien välissä olevalle savelle, kuvat 24 ja 25. Oleellista onkin kalkkipilareilla vahvistetun maapohjan mitoituksessa painuman tarkastelu. Broms on esittänyt erään yksinkertaisen menetelmän kokonaispainuman arvioimiseksi sekä kalkkipilarin myötäraja-kuorman ylittyessä että myötäraja-kuormaa pienemmillä kuormituksilla /5,6 /.

Jos kalkkipilarien myötärajakuorma ylitetään, saadaan kalkkipilarikentän painuma siten, että lasketaan savikerroksen painuma, joka aiheutuu myötärajakuormien summalla vähennetystä kokonaiskuormasta. Myötärajakuormaksi voidaan yleensä ottaa 70 % murto-kuormasta. Jännityksen jakautumisen voidaan otaksua olevan, kuten kuvissa 23 ja 24 on esitetty, 2:1-menetelmän mukainen. Myötärajalla olevien kalkkipilarien oletetaan painuvan yhtä paljon kuin itse savikerroksen.

Jos kalkkipilarien kuormitus on pienempi kuin niiden myötärajakuorma, lasketaan kalkkipilarikentän painuma vastaavasti kuin sellaisen rakenteen kokoonpuristuma, joka sisältää kimmo-ominaisuuksiltaan erilaisia materiaaleja, kuten esim. teräsbetoni. Stabiloidun kerroksen alapuolelle jäävän savikerroksen kokoonpuristuma lasketaan 2:1-menetelmällä. Jotta mitoitus voitaisiin suorittaa, on tunnettava kalkkipilarien myötökuormat ja haluttaessa kokonaispainumien jäävän pieneksi. on pilaritiheys valittava sellaiseksi, että pilarien myötökuormaa ei ylitetä.

Kalkkipilarin veden läpäisevyys lisääntyy 100... 1000-kertaiseksi alkuperäiseen saven vedenläpäisevyyteen verrattuna. Kun kalkkipilarit toimivat myös pysty-ojan tavoin, tapahtuu konsolidoituminen kalkkipilarikentässä nopeasti. Kuvissa 26 on esitetty Ruotsissa Skå-Edebyssä tehdystä kalkkipilarikoepenkereistä saatuja konsolidaatiopainumatuloksia. Voidaan todeta, että stabiloidun penkereen kohdalla painumat ovat paljon pienempiä ja tapahtuvat nopeammin kuin sellaisen penkereen kohdalla, jossa stabilointia ei ole suoritettu. Yksityiskohtaisesti konsolidaationopeuden laskemista kalkkipilarikentässä on käsitelty lähdeteoksessa / 5,6/.

Kalkkipilarien käyttö on edullista silloin, kun kuormitukset eivät ole suuria, mutta savikerrostumien paksuus sensijaan on suuri. Pääasiallisia sovelluskohteita ovat tie- ja ratapenkereet sekä varasto- ja paikoitusalueet, joissa vähäiset painumat eivät yleensä ole rakenteille haitallisia, kuva 27.

Pilarikentän rajoituksena on pilariväli, jota ei voi rajattomasti pienentää.

Kalkkipilarit ovat siirtymärakenteisiin varsin soveliaita, kun suuria ja ~~äkillisiä~~ painumaeroja ei synny siirryttäessä stabiloimattomalta alueelta stabiloidulle. Luiskien stabilointi ja tukiseinien tekeminen on mahdollista käyttäen kalkkipilareita. Putkijohtoja on myöskin mahdollista perustaa kalkkipilarien varaan, kuva 28.

Kalkkipilareita voidaan käyttää myös pientalojen pohjan vahvistukseen, kuva 29. Tällöin tulevat kysymykseen lähinnä puurakenteiset talot. Sensijaan epätasaisille painumille arat rakenteet ovat riskialttiita ja painumaerot on otettava huomioon.

2.12 Pystyjoitus

Savimaalajien kokoonpuristuminen kuormituksen johdosta on yleensä suuri. Painuminen tapahtuu hitaasti ja voi kestää vuosikymmeniä. Painumista voidaan jossakin määrin nopeuttaa ylikuormituksella. Tekemällä maahan pystysuoria reikiä voidaan huokoisveden poistumismatkaa huomattavasti lyhentää. Veden

läpäisevyys on lisäksi 2...4 kertaa suurempi kuin pystysuora läpäisevyys. Näin saven kokoonpuristumista voidaan suuresti nopeuttaa. Samalla myöskin saven leikkauslujuus kasvaa jonkun verran vesipitoisuuden pienentyessä. Esimerkkinä voidaan mainita, että jos 20 m paksun savikerroksen konsolidoituminen kuormituksen johdosta normaalisti kestää 50 vuotta ennenkuin painumat päättyvät, voidaan sama tilanne saavuttaa käyttettäessä pystyjoja jo neljän vuoden kuluessa.

Pystyjoja ryhdyttiin käyttämään 1930-luvun alussa Yhdysvalloissa. Meillä Suomessa tehtiin ensimmäiset hiekkapystyjoat v. 1938. Varsin laajamittaisia pystyjoitustöitä suoritettiin Tarvon tiellä 1950-luvun alkupuolella./7/.

Pystyjoat voidaan tehdä eri tavoin. Vanhin pystyjojatyyppi on ns. hiekkaoja, joka on edelleenkin käytössä. Hiekkapystyjoat tehdään joko kaivukoneeseen kiinnitetyllä lisälaitteella tai erikoisella pystyjoituskoneella upottamalla nykyisin \varnothing 150...300 mm läpimittaiset alapäästä suljetut putket maahan sopivaan syvyyteen yleensä lähelle pohjakerrosta, kuva 30. Putki täytetään sopivan rakeisuuden omaavalla hiekalla käyttäen apuna vettä ja vedetään ylös. Maahan muodostuu näin paalumainen pystyjoja.

Ensimmäiset pystyjoat Suomessa tehtiin \varnothing 80 mm työputkella ja 50-luvun alussa siirryttiin käyttämään \varnothing 100 mm putkea. Nykyisin pystyjoaputken läpimitaksi on vakiintunut \varnothing 150...200 mm. Pystyjoat sijoitetaan tavallisesti 1...2 m etäisyyteen toisistaan verkkomaisesti joko kolmion tai neliönmuotoiseen järjestykseen. Neuvostoliitossa ja Yhdysvalloissa

on käytetty yleensä suurempiläpimittaisia \varnothing 400 ...500 mm pystyjoja, joiden keskinäinen välimatka on suurempi kuin mitä Suomessa on käytetty.

Putkea upotettaessa häiriintyy saviaines putken ympärillä tutkimusten mukaan jopa putken 1.5-kertaisen läpimitan edustamalla alueella. Putki voidaan myöskin upottaa maahan poistamalla sen tilavuutta vastaava määrä savea. Saven häiriintyminen on tällöin pienempi.

Hiekkapystyjojen asemasta voidaan käyttää myöskin valmiita nauha- tai putkimaisia oja, jotka erikokoisesti sitä varten suunnitelluilla laitteilla painetaan maahan. Eniten käytetty on tällä hetkellä Geodrain-oja, joka on vanhan ns. Kjellmann-pahvi-ojan edelleen kehitelmä. /8/.

Geodrain-pystyoja on kehitetty Ruotsissa ja se koostuu 100 mm leveästä uritetusta muovilevystä, joiden urien poikkileikkausala on n. 2.2 cm^2 . Muovilevyn ympärillä on vettä läpäisevä pahvi, joka estää maan aineksen tunkeutumisen Geodrain-ojaan, kuva 31. Ojaan pahvin läpi suotautunut vesi pääsee poistumaan pystysuunnassa muovilevyssä olevien urien kautta.

Geodrain-oja työnnetään maahan poikkileikkaukseltaan soikionmuotoista putkea hyväksikäyttäen siten, että oja on tämän putken sisällä. Putken painamiseen on kehitetty erikoinen traktoriin liitetty laitteisto, jolla 15 metrinkin pystyjoat voidaan painaa maahan, Alimak-laitteisto, kuva 32. Putken painamiseen voidaan käyttää myöskin kaivinkoneita ja tällöin voidaan maahan työntää jopa lähes 40 m pituisia pystyjoja.

Putken avulla maahan painettavia ojia on kehitetty useita muitakin tyyppisiä, jotka poikkeavat Geodrain-ojasta siinä, että ne ovat putkenomaisia, tehty esim. muoviputkesta, joka on päällystetty suodatinkankaalla taikka -paperilla. On myöskin kehitetty laitteita, joilla pystytään maahan puristamaan vain pelkästä suodatinkankaasta tehty sukkamainen rakenne. Useimmat näistä malleista ovat patenteilla suojattuja.

Pystyöjituksen pääasiallinen tarkoitus on painumien jouduttaminen, mutta myöskin koheesiomaan leikkauslujuutta voidaan jonkun verran lisätä. Pystyöjia tehtäessä aiheutettu häiriö pienentää kuitenkin aluksi leikkauslujuutta hieman.

Koheesiomaan konsolidoitumiseen tarvittava aika riippuu maan laadusta ja pystyöjien väloesta etäisyydestä. Ratkaisevia ovat maan vaakasuora konsolidaatiokerroin c_h ja pystysuora kokoonpuristuvuus. Yleensä c_h on jonkun verran suurempi kuin pystysuora konsolidaatiokerroin c_v (c_h 1...4 x c_v)

Painuma-aika voidaan määrittää laboratoriossa ödometrikokeella, siten että olosuhteet vastaavat pystyöjituksen virtausolosuhteita, ts. asettamalla tiiviit metallilevyt maanäytteen ylä- ja alapuolelle sekä huokospilari (hiekkaoja) näytteen keskelle kuvan 33 mukaan (siten, että pystyöjan säteen r ja vaikutus säteen R suhde on sama ödometrikokeessa ja luonnossa). Luonnossa tarvittava konsolidaatioaika t_{luonn} saadaan tällöin samaa kons. astetta vastaavan laboratoriossa mitatun ajan t_{koe} avulla:

$$t_{luonn} = t_{koe} \frac{R_{luonn}^2}{R_{koe}^2} . \text{ Luonnossa tarvittava ojaväli}$$

on siten $\approx 2R_{luonn} = 2R_{koe} \sqrt{t_{luonn}/t_{koe}}$. Jos esim 90 % painumasta pitää tapahtua 2 vuodessa, t_{koe} on $U=90\%$ vastaava lab. aika ja $t_{luonn} = 2$ v.

Pystyöjan läpimitan ja ojan välinen mitoitus voidaan suorittaa useammankin teorian mukaan. Laskentaa varten on suoritettu yksinkertaistuksia otaksumalla

- saven olevan homogeenista ja vedellä kyl-
- lästettyä,
- muodonmuutosten tapahtuvan vain pystysuun-
- nassa, pystysuuntaista virtausta ei tapahdu,
- Darcyn laki on voimassa,
- pystyojan vaikutusalue lieriömäinen,
- painumat tasaisia.

Tämän pohjalta on kehitetty mm. Kjellmanin teoria /2/

$$U = 1 - e^{-\frac{c_h t}{m}} \text{ eli } t = \frac{m}{c_h} \ln \frac{1}{1-U}$$

$$m = \frac{R^2}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{R}{r\sqrt{\pi}} \right) - \frac{3}{4} \right]$$

missã

t = käytettävissä oleva palnuma-aika

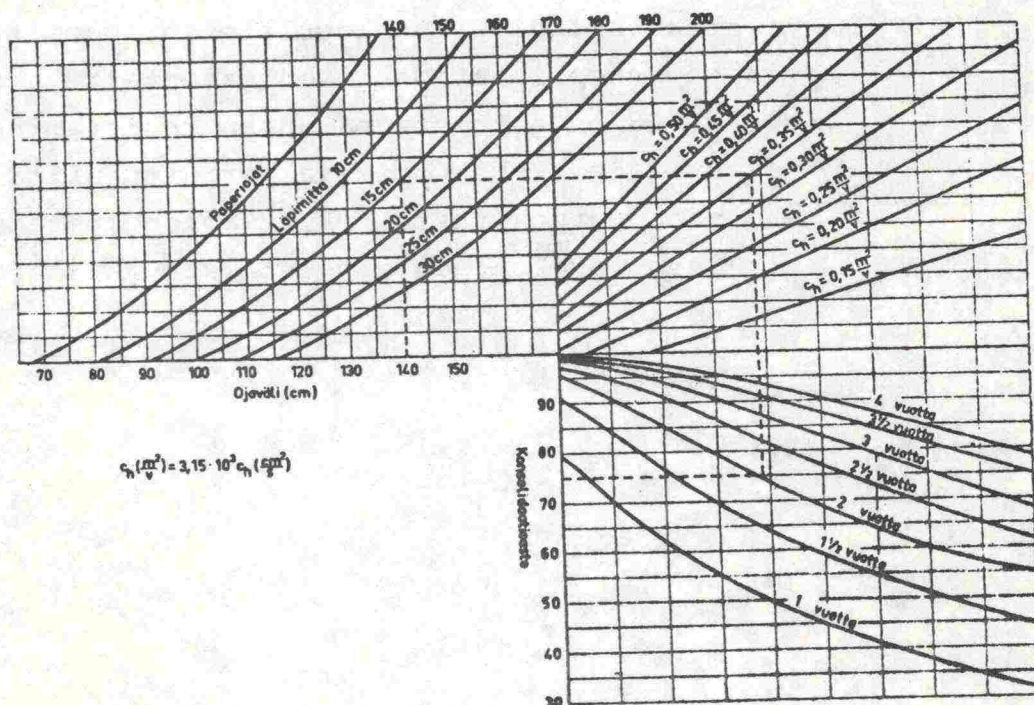
U = vaadittu konsolidaatioaste

c_h = saven konsolidaatiokerroin vaakasuorassa virtauksessa

r = pystyojan säde

R = pystyöjen keskinäinen väli

Laskentakaavio on kehitetty myös seuraavan monogrammin muotoon. Sen mukaan saadaan suoraan oja-
väli, kun tunnetaan aika F , konsolidaatioaste U_t ,
saven konsolidaatioaste U_t , saven konsolidaatio-
kerroin c_h sekä pystyojan säde.



Pystyöjituksen yhteydessä lisääntyy myöskin maa-
aineksen leikkauslujuus. Tällä saattaa olla merkitys-
tä esim. penkereen stabiliteetin kannalta kuva 34
Lujuus lisääntyy ainoastaan kuormituksen panepiirin
alueella, kuva 34. Leikkauslujuus lisääntyy konsoli-
daatioprosessin aikana sen mukaan kuin huokoisveden-
paine U pienenee. Leikkauslujuuden lisääntyminen
maamassan eri pisteissä on likimäärin arvioitavissa
kimmoteorian mukaisen pystysuoran normaalijännityk-
sen lisäyksen $\Delta \sigma_z$ avulla.

Pystyöjitetun alueen päälle täytetään maan pintaan
hiekkakerros, joka on yhteydessä pystyöjiin. Tämän
päälle levitetään tayte kerroksina sitä mukaan, kun
maa-aineksen leikkauslujuuden kasvu sallii, kuva 35 ja 33.
Täytekuorma voidaan korvata ilmanpaineella, kun
ohuen maanpintaan täytetyn hiekkakerroksen päälle
levitetyn kankaan alle vacuum-pumpulla aikaansaadaan
tyhjiö, kuva 36.

Varsinaisen pengertäytön lisäksi, jos kyseessä on
esim. tiepenger levitetään ylipengertä, joka poiste-
taan silloin, kun lopullisten kuormitusten edellyttä-
mä konsolidaatioaste on saavutettu, kuva 37. Kuvas-
sa 38 on esitetty painuman kehittyminen käytettäessä
erilaisia pystyöjia ja verrattu niitä painumaan il-
man pystyöjitusta. Pystyöjien kustannukset vaihte-
levat työkohteen olosuhteista ja laajuudesta riippuen
n. 10... 20 mk/jm.

2. Kitkamaan vahvistaminen

Kitkamaa saattaa olla rakenteeltaan niin löyhää, että sallittu pohjapaineen arvo jää vaatimattomaksi. Anturat saattavat tällöin tulla niin suuriksi, että muut perustamismenetelmät esim. paalutus tulevat taloudellisemmaksi kuin suoraan löyhän kitkamaan varaan perustaminen. Kitkamaan kantavuutta voidaan kuitenkin lisätä ja kyseeseen tulevat menetelmät, joilla kitkamaa voidaan tiivistää syvälle. Tällaisina menetelmiä ovat mm. tiivistyspaalutus, dynaaminen syvätiivistys, täryhuuhtelu, injektointi eri nesteillä sekä tilapäistoimenpiteinä jäädyttäminen ja jopa eräissä tapauksissa pohjavedenpinnan alentaminenkin.

21 Dynaaminen syvätiivistäminen

Dynaaminen syvätiivistäminen perustuu shokkimaisen täryaallon vaikutukseen. Se synnytetään joko pudotamalla raskas järkäle maanpintaan tai suorittamalla maanpinnalla suunnattuja räjäytyksiä, kuva 40.

Dynaaminen syvätiivistys tulee useimmiten kysymykseen lohkar- ja täyttöpenkereiden tiivistämisessä. Järkäleen paino saattaa olla 100...400 kN ja pudotus tapahtuu 10...40 m korkeudesta. Kerralla pystytään tiivistämään jopa 10...15 m paksuja kerroksia riippuen järkäleen koosta ja pudotuskorkeudesta, kuva 39 /9/.

22 Täryhuuhtelu

Kitkamaata voidaan tiivistää syvältä myöskin täryhuuhtelua hyväksikäyttäen. Menetelmä perustuu eräänlaisen järeän, läpimitaltaan 300...400 mm tärysauvan käyttöön, kuva 43.

Tärytin upotetaan vesihuuhtelun ja tärytyksen avulla tiivistettävän maakerroksen alaosaan, ja tärytintä edestakaisin liikuteltaessa, syntyy maahan kartiomainen reikä. Tähän kartiomaiseen reikään täytetään karkeata maa-ainesta ja samalla kun tärytintä nostetaan vähitellen ylös veden virratessa täryttimen yläosasta. Näin syntyy lieriömäinen tiivistetty hiekkapilari, jonka halkaisija on 1,5... 2 m. Tekemällä nämä pilarit sopivan etäisyyden päähän toisistaan saadaan tarvittava alue tiivistettyä, kuva 41./2/. Sallittua pohjapaineen arvoa voidaan nostaa 150 kN/m^2 :stä $400...450 \text{ kN/m}^2$:iin, kuva 42. /10/.

Menetelmän aiheuttama kustannus tiivistettyä hiekkapilarijuoksumetriä kohti on toteutuneissa tehtävissä ollut n. 40...50 mk/jm, joka vastaa n. 10...25 mk m^3 tiivistettyä maata. Meillä Suomessa menetelmää on vasta kokeiltu, mutta keski-Euroopassa menetelmä on saavuttanut varsin vankan jalansijan.

2.23 Maainjektointi

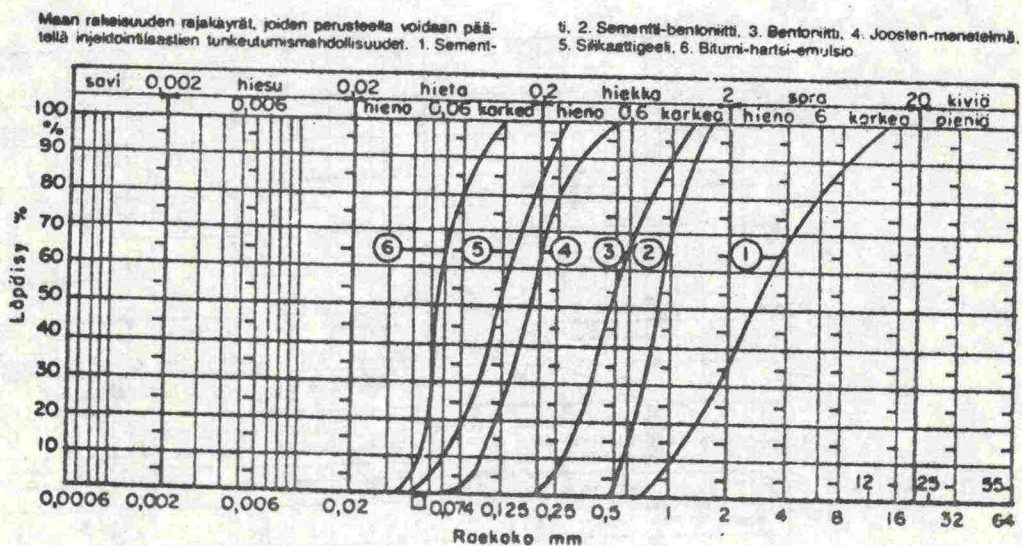
Injektointimenetelmän käyttö maapohjan lujittamisessa perustuu maan huokostilan täyttämiseen ja maarakeiden liittämiseen toisiinsa sopivalla sideaineella. Maainjektoinnilla pyritään, riippuen tavoitteesta joko maan vedenläpäisyyden pienentämiseen tai maan puristus- ja leikkauslujuuden lisäämiseen.

Injektointi soveltuu hyvinkin syvällä olevien maakerrosten lujittamiseen tai tiivistämiseen myös valmiiden rakenteiden alla usein hyvinkin ahtaista työskentelytiloista käsin. Vaihtelemalla injektointiaineita voidaan injektoida lujittaa myös epähomogeeninen ja kerroksellinen maapohja.

Injektointimenetelmällä on myös rajoituksensa. Se on menetelmänä varsin kallis ja tulee yleensä kyseeseen, kun muita työmenetelmiä ei voida käyttää. Luotettavaa lopputulosta on usein vaikea saavuttaa epähomogeenisessa maassa pyrittäessä kokonaislujuuden lisäämiseen. Maa-injektointi edellyttääkin pohjasuhteiden tarkkaa ja luotettavaa selvittämistä kohdealueella, jotta ennen työn aloittamista osataan määrittää oikea injektointimenetelmä ja -aineet.

Mitä injektointimenetelmää milloinkin voidaan käyttää, riippuu ratkaisevasti maa-aineksen injektoitavuudesta. Injektoitavuus on riippuvainen myös injektointiaineesta, injektointinesteen ollessa kyseessä sen viskositeetista ja injektointilaastin ollessa kyseessä sen sisältämien aineosien suurimmasta raakoosta.

Yksinkertaisimmin, ja se riittää alustavaan tarkasteluun, voidaan sopiva injektointiaine määrittää maa-aineksen rakeisuuden perusteella seuraavan käyrästön mukaisesti. Käyrästössä on esitetty maan rakeisuuden rajakäyrät erilaisille injektointiaineille.



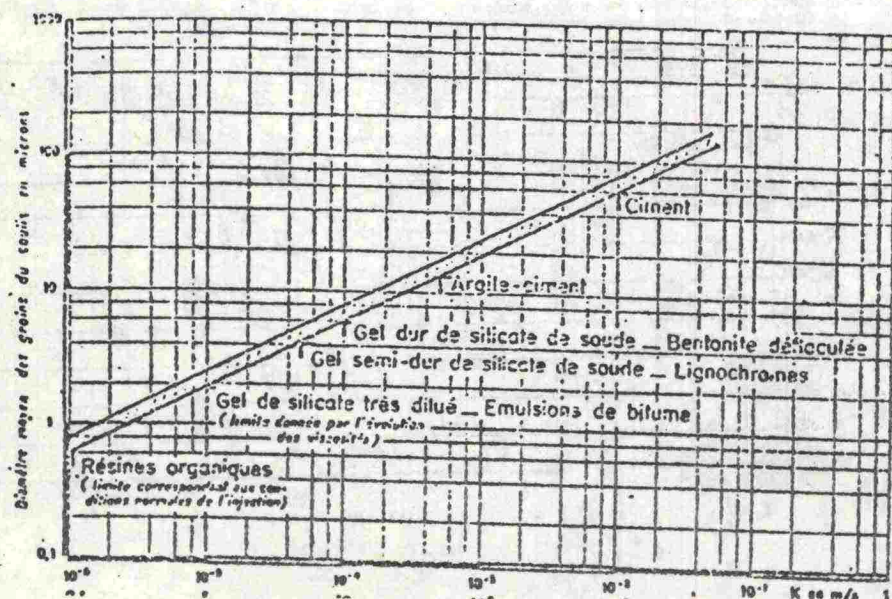
Maan tiiveys, kerrostuneisuus ym. tekijät vaikuttavat injektointivuuteen kuitenkin siinä määrin, että rakeisuuden perusteella tehtyjä päätelmiä on tarkistettava vedenläpäisevyyskokeiden avulla.

Täsmällisempi kriteeri injektointivuuden määrittämiseksi onkin maalajien vedenläpäisevyys, jota verrataan injektointiaineen keskimääräiseen raekokoon. Teoreettista tietä voidaan johtaa CAMBEFORTin (1964) esittämä kaava /11/.

$$d = c\sqrt{K}$$

jossa d = injektointiaineen raekoko, K = vedenläpäisykerroin ja C = vakio.

Jos kaavan esittämä yhtälö piirretään kaksoislogaritmipaperille, saadaan sen kuvaajaksi suora viiva, jonka kaltevuus on 1: 2. Vedenläpäisykertoimen käyttö kriteerinä tunkeutuvuuden arvioinnissa on helpompaa kuin maanäytteistä saatujen rakeisuuskäyrien vertailu. Seuraavassa kaaviossa on esitetty CAMBEFORTin (1964) esittämä diagrammi injektointivuusrajoista erilaisille injektointiaineille. Ylimpänä kuvassa on sementti ja alimpana muoviperusteiset injektointiaineet.



Sementti-injektointi soveltuu käytettäväksi silloin, kun maa-aineksen pienin raekoko on n. 1 mm, ts. maa-aineksen tulee olla suhteellisen karkeata. Useammat epäonnistumiset ovat johtuneet juuri siitä, että maa-aines on ollut liian hienoa. Usein näet injektoidaan silloin, kun muut konstit ovat loppuneet.

Parhaimman kuvan injektoinnin onnistumisen edellytyksistä saa kuitenkin tekemällä koeinjektioita kohdealueella. Lopulliset suunnitelmat ja injektointi-aineiden valinnat onkin syytä tehdä vasta koeinjektointien antamien viitteiden perusteella.

Itse injektointityön suoritus on mitä suurimmassa määrin ammattitaitoa ja kokemusta vaativa tehtävä, joka on syytä antaa erikoisliikkeiden suoritettavaksi.

Sementti-injektointikustannuksia arvioitaessa voidaan yleensä lähteä siitä, että injektoitu maakuutio on hinnaltaan 3...4 x betonikuutio.

Jos maa-aines on hienorakeista, käytetään kemiallisia injektointiaineita, injektointinesteitä, jotka periaatteessa voidaan jakaa kahteen ryhmään:

- kahden nesteen menetelmät
- yhden nesteen menetelmät

Kemiallisesta injektoinnista aiheutuvat kustannukset vaihtelevat suuresti, suuruusluokka on yleensä 3...10 kertainen sementti-injektointiin verrattuna.

Injektointia on käytetty menestyksellä mm. maapatojen alla olevien maa-kerrosten tiivistämiseen.

Kuva 44 esittää esimerkkinä Mission-padon leikkausta ja injektointireikien sijaintia. Padon alle on injektoimalla tehty tiivistysverho. Injektoimalla voidaan myös vahvistaa maapohjaa perustusten alla ja tehdä maa-aines vesitiiviiksi pohjavedenpinnan alaisten rakenteiden toteuttamiseksi kuivissa oloissa, kuva 45.

2.24 Jäädytys

Jäädytysmenetelmä perustuu siihen, että maarakeiden huokostilassa oleva vesi jäätyy ja liittää maarakeet toisiinsa, jolloin maan ominaisuudet muuttuvat ratkaisevasti. Jäädytysmenetelmää voidaan käyttää kaikissa maalajeissa, mutta kohteen edellytetään olevan pohjavedenpinnan alapuolella. Veden virtaus ei kuitenkaan saa olla niin voimakasta, että jäätyminen hidastuu liikaa tai estyy kokonaan.

Jäädytetty maa on vesitiivistä ja sen lujuus riippuu lämpötilasta seuraavan taulukon mukaisesti ja on paljon suurempi, aivan toista suuruusluokkaa kuin luonnontilaisen maan.

Jäätyneen maan puristuslujuus.

Puristuslujuus NM/m ²	-10°C	-20°C	-30°C	-160°C
Hiekka	8...14	11...18	13...22	90
Siltti	6...8	9...11	13...14	70
Savi	3...8	5...8	6...11	48
Jää	1,2	2,2	3	

On kuitenkin otettava huomioon, että jäätyneessä maassa tapahtuu kuormituksen vaikutuksesta varsin voimakasta hiipumaa, joka alentaa murtolujuutta.

Maan pitäminen jatkuvasti jäätyneenä edellyttää jäädytyslaitteiston jatkuvaa toimintaa. Jäädytysmenetelmää käytettäessä on otettava huomioon, että routaantumisilmiön seurauksena voi syntyä maan nousua. Sulamisvaiheessa saattaa puolestaan syntyä epätasaisia painumia.

Jäädytystä varten asennetaan maahan 100...200 mm läpimittaisia jäädytysputkia, jotka on varustettu jäädytysnesteen kiertoputkillla. Jäädytysputket asennetaan riippuen kohteesta 1.0...1,5 m päähän toisistaan vaaka- tai pystyasentoon, kuva 46. Putket liitetään jäädytyslaitteistoon ja jäädytysnesteen viedessä lämpöä vähitellen maasta, alkaa maan jäätyminen ensin putken pinnalta ja jatkuu säteen suunnassa putkesta ulospäin ja hidastuu vähitellen etäisyyden kasvaessa. Kuvassa 47 on esitetty jäätyminen vaikutusssäteen riippuvuus ajasta Papasow'in mukaan. Jäätymisnopeus voidaan määrittää lämpäteknillisin laskelmin, kun laitteisto ja pohjasuhteet ovat tiedossa, / 12.

Itse jäädyttämiseen voidaan kohteesta ja tavoitteesta riippuen käyttää erilaisia menetelmiä. Useimmiten käytetään suljettua, joko epäsuoraa tai suoraa järjestelmää, jossa jäädytysneste kiertää jatkuvasti.

Suljettu epäsuora menetelmä perustuu siihen, että kaasu, ammoniakki NH_3 , hiilidioksiidi CO_2 tai Freon CF_2Cl_2 nesteytetään kompressorin (paine) ja kondensaattorin (jäähditys) avulla, kuva 48.

Lämmönvaihtajassa neste höyrystyy ja sitoo lämpöä jäähditysputkistossa kiertävästä jäädytysnesteestä, tavallisesti kalsiumkloridiliuoksesta. Jäädytysputket puolestaan luovuttavat kylmyytensä maahan. Pienehköissä kohteissa käytetään ammoniakkimenetelmää, jolloin lämpötila laskee n. -25°C . Jos jäädy-

tettava kohde on laaja ja jääseinien tulee olla paksuja, käytetään freon- tai hiilidioksidimenetelmää. Hiilidioksidimenetelmällä voidaan saavuttaa n. -50°C lämpötila./12/.

Suljetussa suorassa menetelmässä, jota nykyisin eniten käytetään ja joka on epäsuoraa tehokkaampi ja yleensä taloudellisempi, nesteytetty kaasu johdetaan suoraan jäädytysputkiin ilman lämmönvaihdinta. Menetelmän käyttö asettaa kuitenkin huomattavasti suuremmat vaatimukset laitteiston mitoitukselle, suunnittelulle ja toteutukselle. Mm. korkea paine edellyttää putkistolta suurempia lujuusvaatimuksia kuin epäsuorassa menetelmässä.

Pienehköissä kohteissa, jos jäädyttäminen on toteutettava nopeasti, voidaan käyttää suoraa avointa menetelmää. Tällöin käytetään nestemäistä typpeä, jonka annetaan kaasuuntua jäädytysputkissa. Kun kaasuuntumislämpötila on alhainen, -196°C , voidaan nopeasti sitoa suuria lämpömääriä ja saada jäätyminen nopeasti aikaan, kuva 49. Menetelmä on verraten kallis ja soveltuu parhaiten hätäkeinoksi. Työturvallisuuteen on kiinnitettävä myös erikoista huomiota.

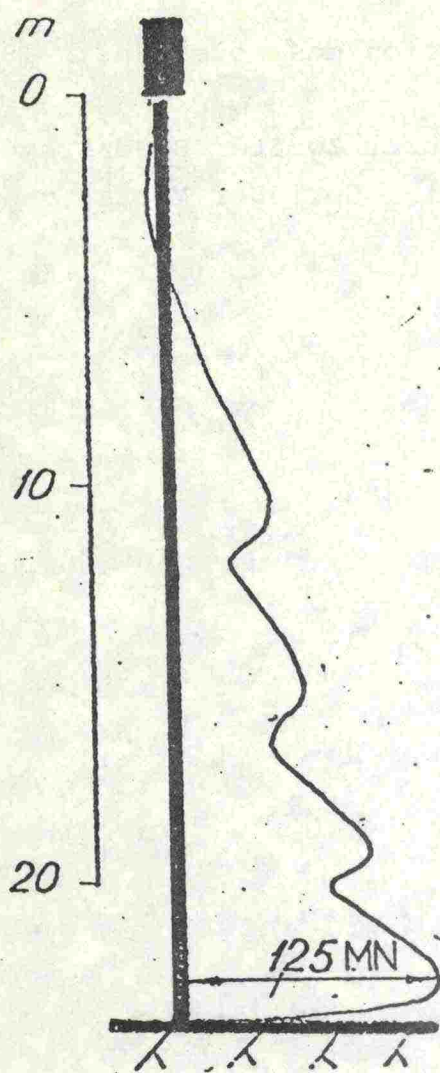
Harkittaessa jäädytysmenetelmän käyttöä, on tarkasteltava jäädyttämiseen tarvittavaa aikaa sekä maan aineksen että maassa olevan veden jäätyksen edellyttämää energiamäärää. Huomiota on kiinnitettävä myös suuriin energiahäviöihin, jotka saattavat olla jopa 50 % koko energiatarpeesta. Suuruusluokkaisesti voidaan otaksua yhden maakuution jäädyttämisen edellyttävän energiaa 30.000...50.000 Kcal.

Jäädyttäminen edellyttää yleensä runsaasti aikaa. Teho- ym. laskelmia tehtäessä on riittävän paksun jäätyneen seinän aikaansaamiseen, perusjäädymiseen, varattava yleensä aikaa 30...60 vrk. Jää-
tymisen ylläpitoon tarpeellinen teho on kohteesta riippuen 40...65 % perusjäädymisen edellyttämistä tehosta. Nestemäistä typpeä käyttäen voidaan perusjäädyminen toteuttaa kohteesta riippuen 2...6 vrk:ssa.

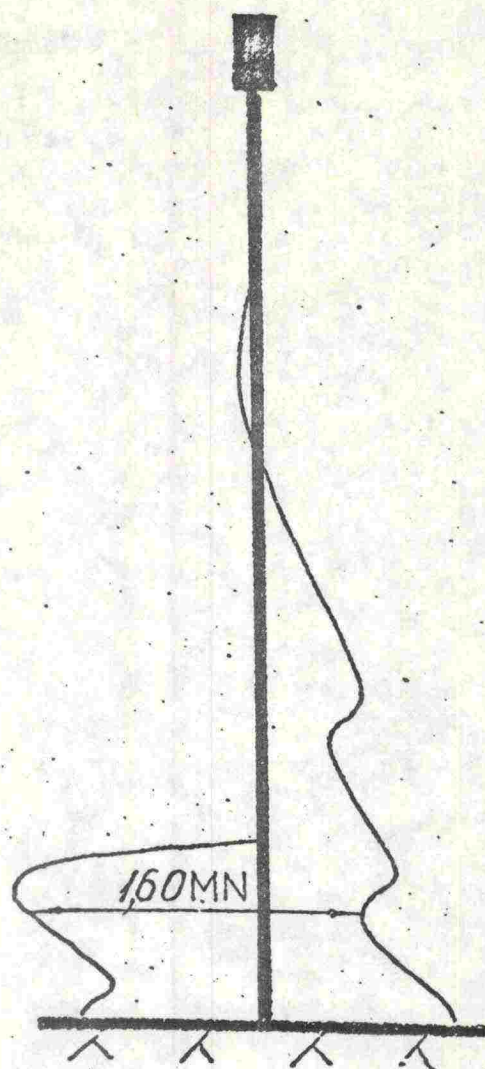
KIRJALLISUUSLUETTELO

- 1 Lyöntipaalutusohjeet -72 (LPO-72), Suomen Geoteknillinen Yhdistys, Helsinki, 1972.
- 2 Pohjarakennus, RIL 95, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, Helsinki, 1974.
- 3 Suurpaaluohjeet -77 (SPO-77) maan sisään valettavien suurpaalujen suunnittelu- ja valvontaohjeet, Suomen Geoteknillinen Yhdistys, ohjeet valmisteilla ja valmistunevat vuoden 1977 aikana.
- 4 Karl Gustav Assarson, Bengt Broms, Sven Granholm, Kjeld Paus, Deep stabilization of soft cohesive soils, osaraportti projektista "Deep Stabilization of Soft Soils with Lime stabulized Colums"
- 5 Bengt Broms, Per Boman, Kjeld Paus, Kalkpelarmetoden, STF-ingeniörsutbildning Stockholm, 1974.
- 6 Bengt Broms, Per Boman Stabilisering av jord med kalkpelar, Beräkningshandbok, Stockholm, valmisteilla, ilmestynyt vuoden 1977 aikana.
- 7 T. Hailikari, M.O.Juhola vertikaldsäneringen på Tarvovägen, Tekniskt Forum nr 9, 1964.
- 8 Terrafigo Ab, Geodrains, Geotechnical Reports, Sweden.
- 9 L. Menard, Y. Broise Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation geotechnique Volume XXV, Number 1, 1975
- 10 E. Schumacher, Die Bodensanierung für den Güterbahnhof Wolfurt, Bauingenieur 51,H9,

- 11 Cambefort, H. Injektion des sols, Paris 1964.
- 12 Szechy, K. Der Grundbau Zweiter Band/Erster Teil und Zweiter Teil, Springer Verlag, Wien 1965.



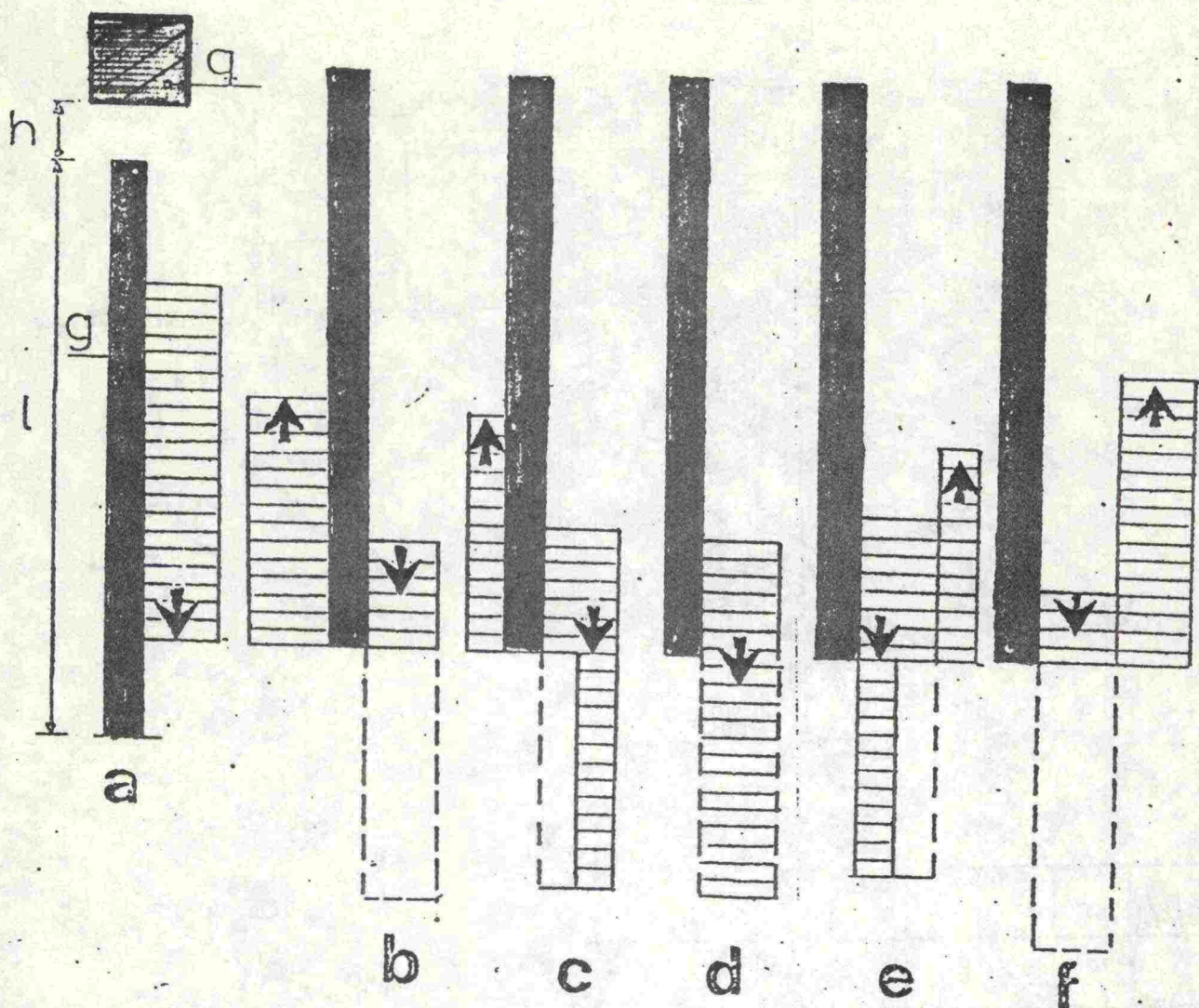
0 04 08 12



0 04 08 12 16 20

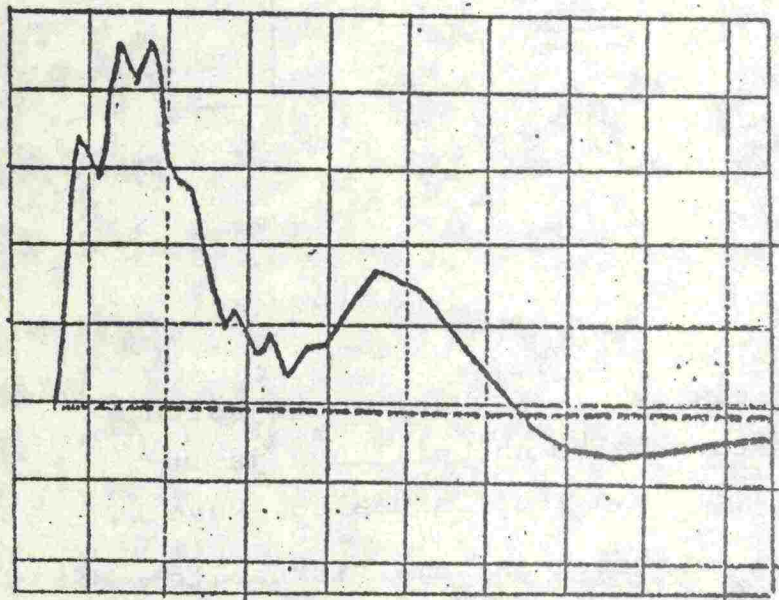
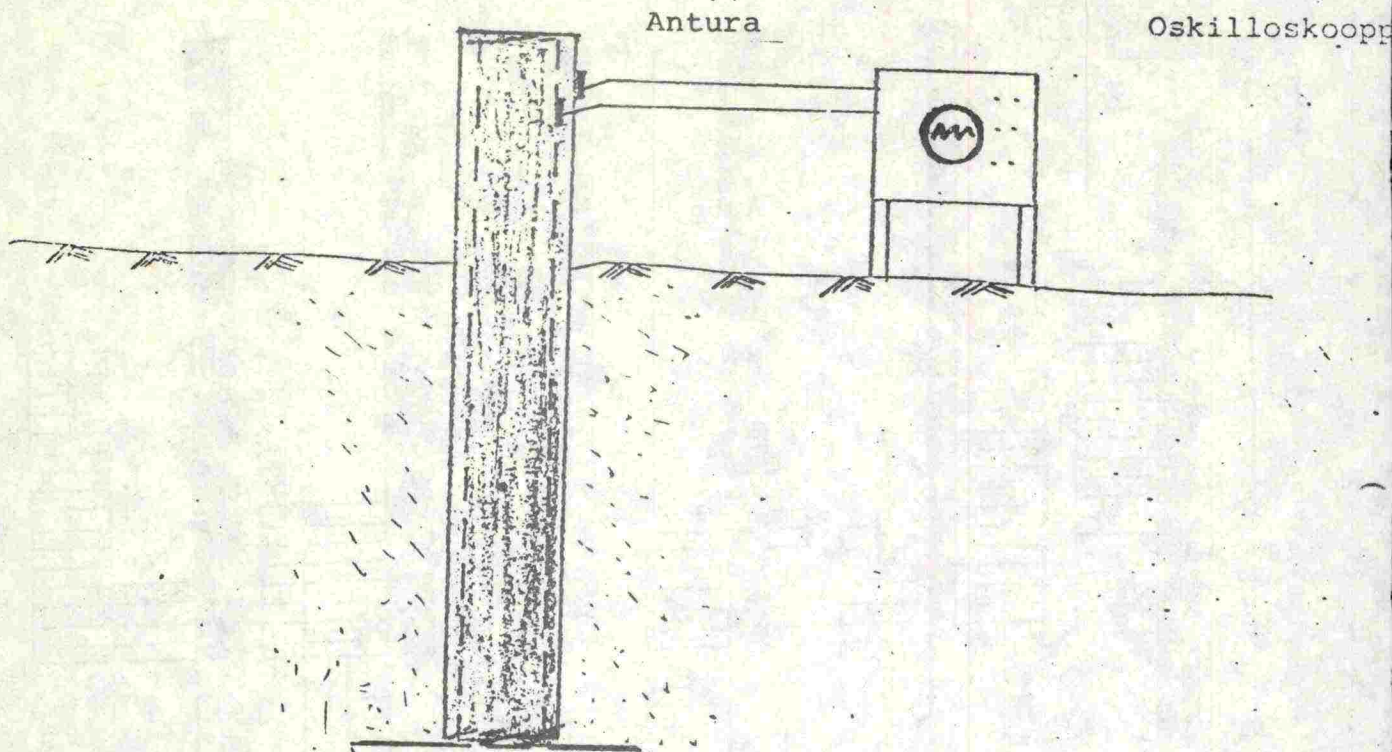
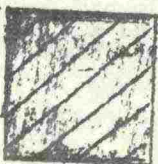
vaorallinen
alue 1 < 4 m

Kuva 1

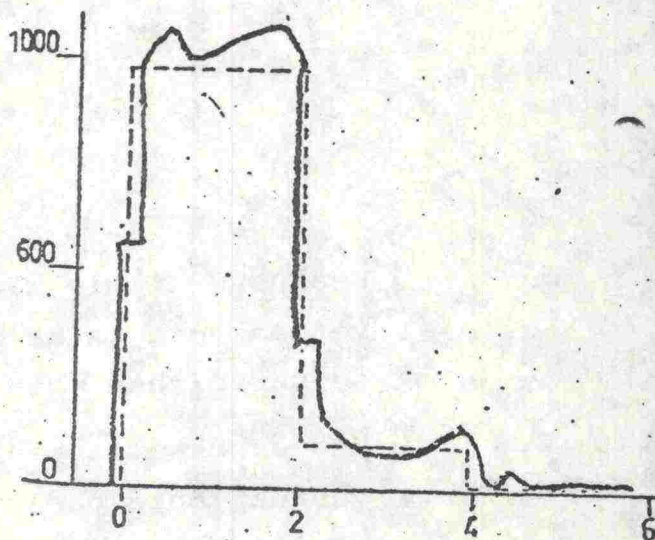


1. Paalussa ei ole kärkivastusta. Iskuaalto heijastuu vetoaaltona ja heijastuva aalto on peilikuva ja itseisarvoltaan yhtä suuri kuin lähtöiskuaalto, kuva b.
2. Maa-aineksella paalun päällä on sama "iskuaaltovastus" kuin paaluilla. Iskuaalto jatkaa maassa etenemistään heijastumatta, kuva d.
3. Paalun kärkivastus on äärettömän suuri. Iskuaalto heijastuu iskuaaltona samansuuruisena kuin kärkeen tullessa, kuva f. Jännitys paalun kärjessä on 2 kertaa iskuaallon max. jännitys.

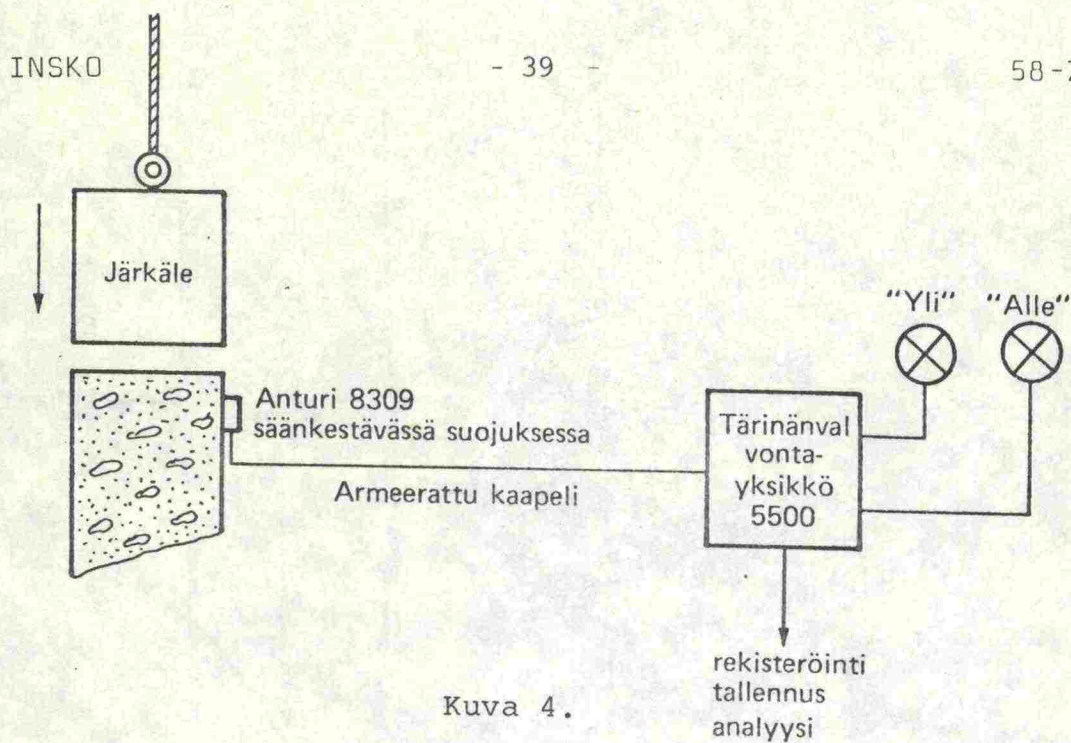
Kuva 2



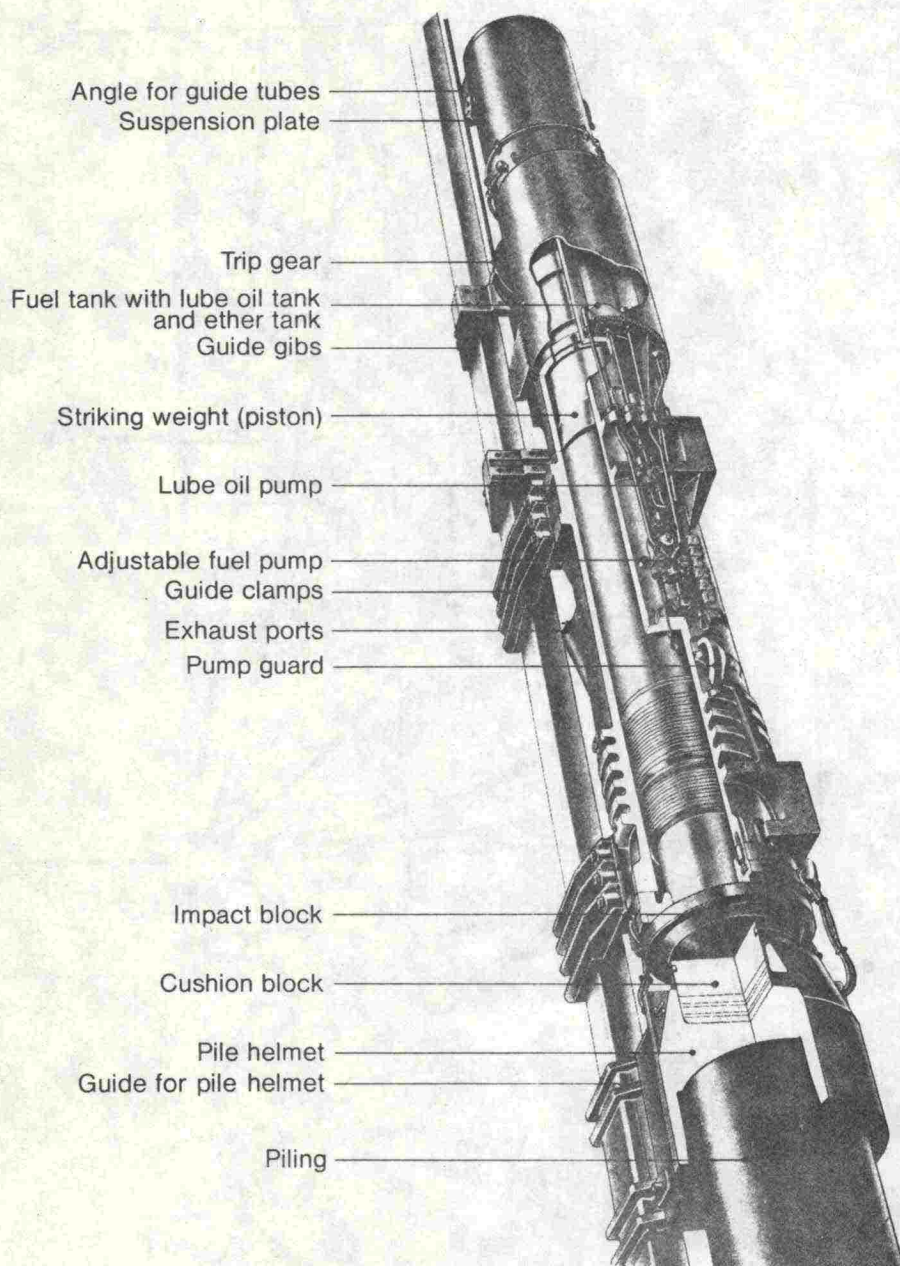
Iskuaallon intensiteettiä kuvaava jännityskuvio oskilloskoopin kuva-putkella.



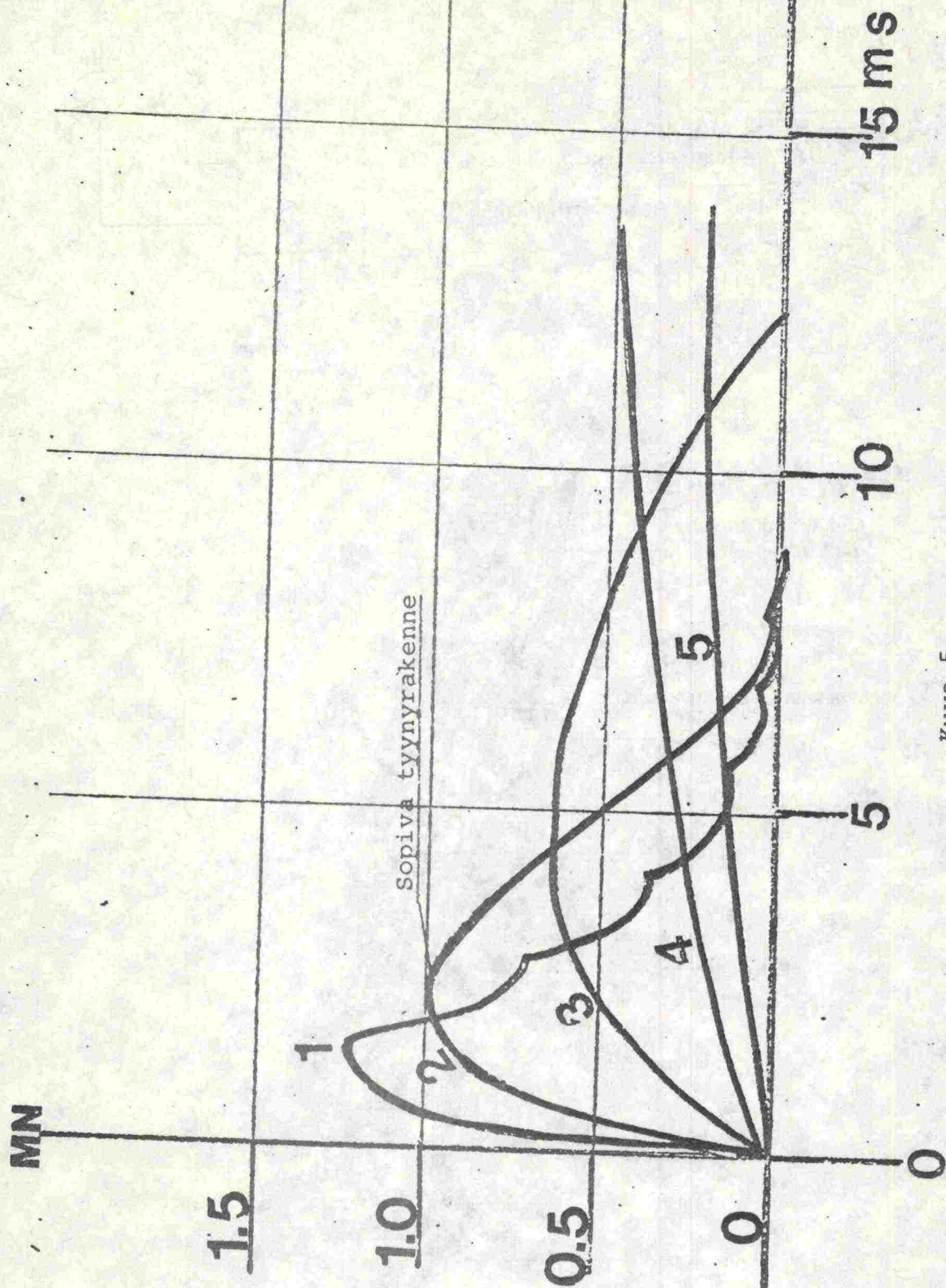
Iskuaaltojännitys lyötäessä teräspaalua samanlaisella yhtä pitkällä paalulla



Kuva 4.



Kuva 6.



Kuva 5.

DELMAG
D-7300 Esslingen

DELMAG

Dieselbär DELMAG-D 22
mit Kraftstoff-Regelpumpe

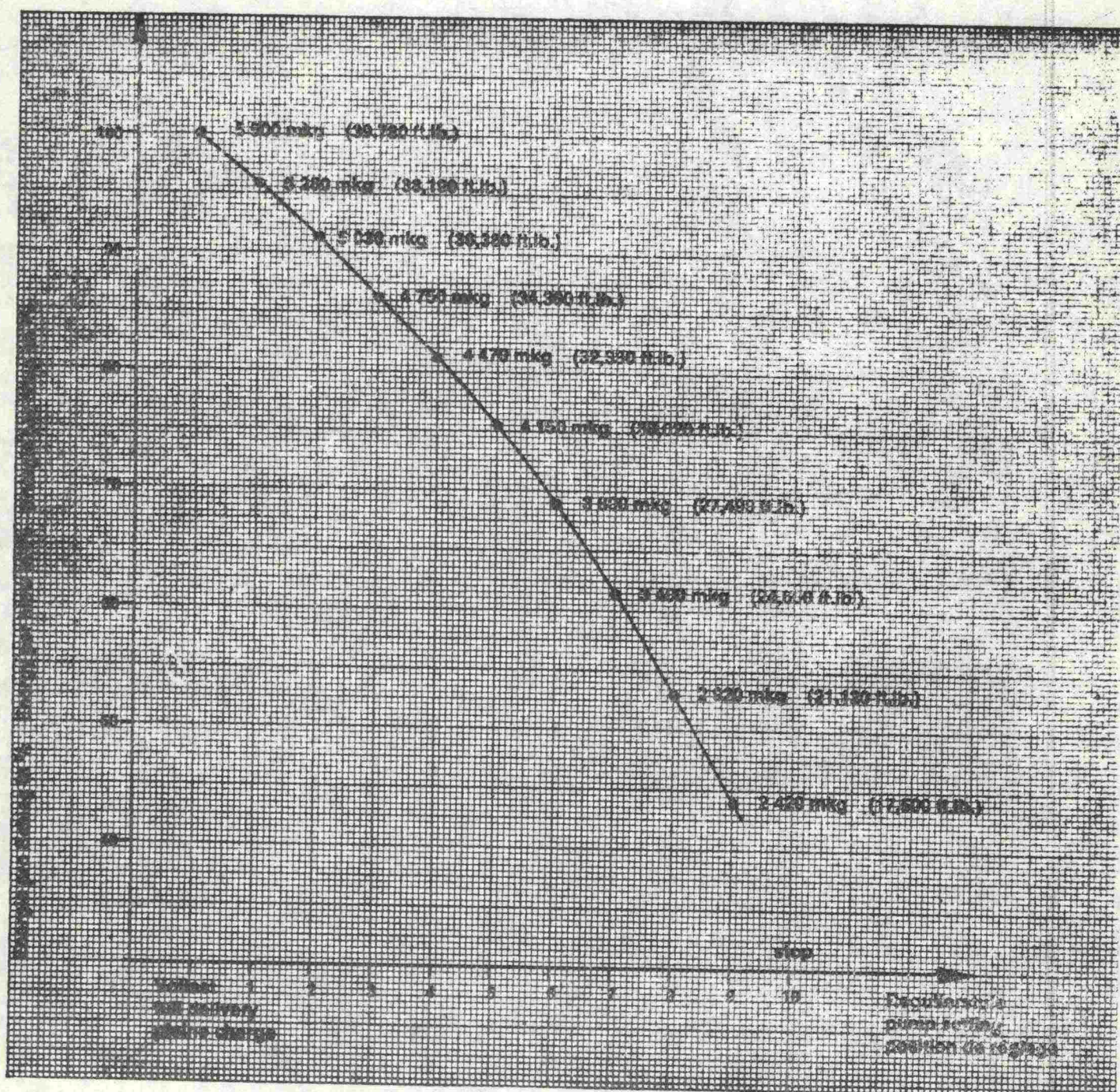
DELMAG-D 22 Diesel Pile
Hammer with variable-delivery
fuel pump

Mouton Diesel DELMAG D-22
avec pompe à combustible
réglable

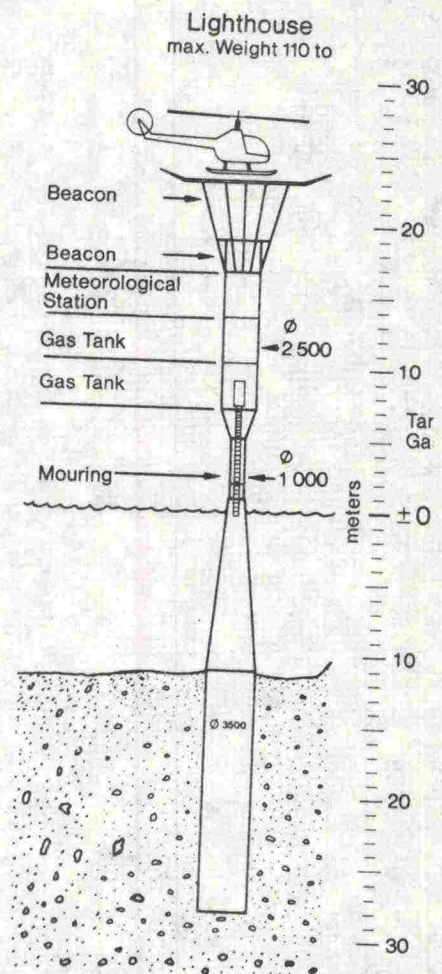
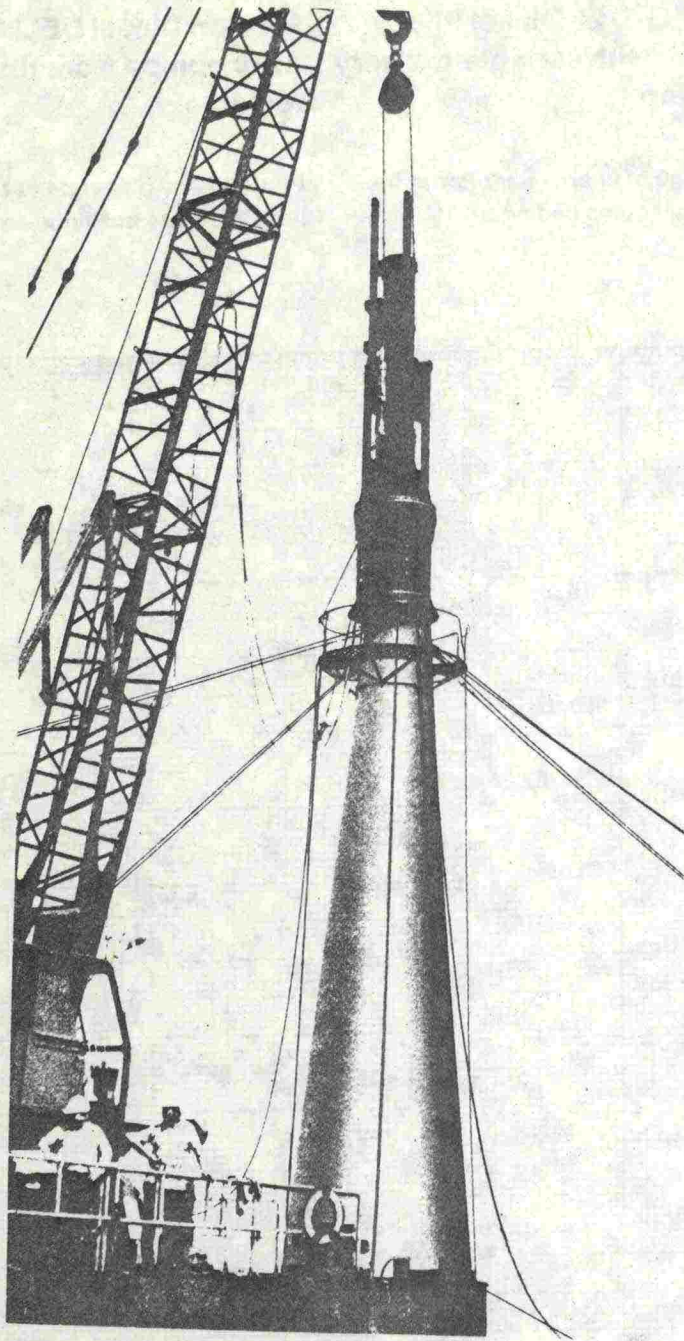
Prozentuale Energie pro Schlag bei den
verschiedenen Regulierstufen.

Percentage of energy per blow at the
various fuel pump settings.

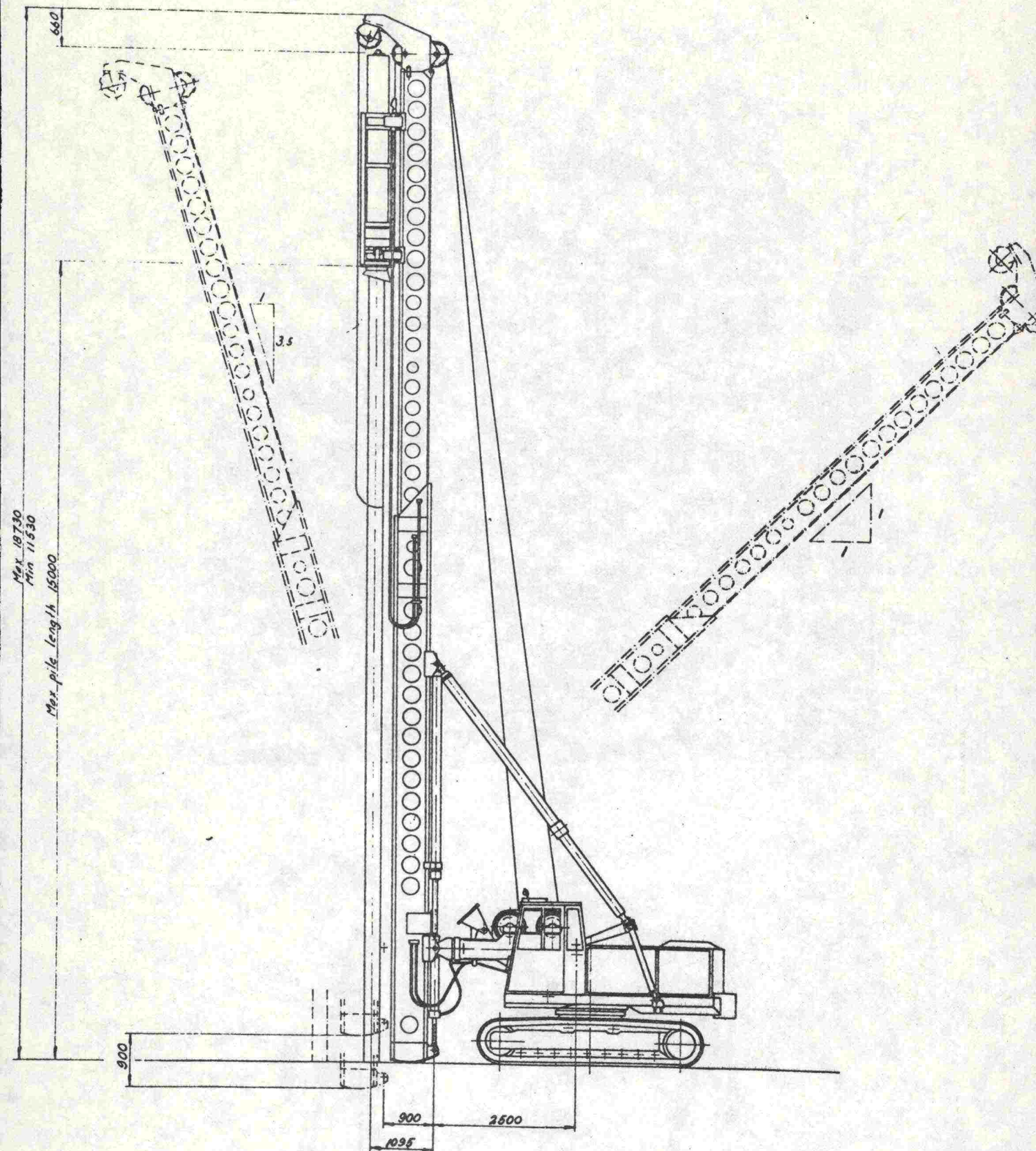
Pourcentage d'énergie par coup dans
les différentes positions de réglage.



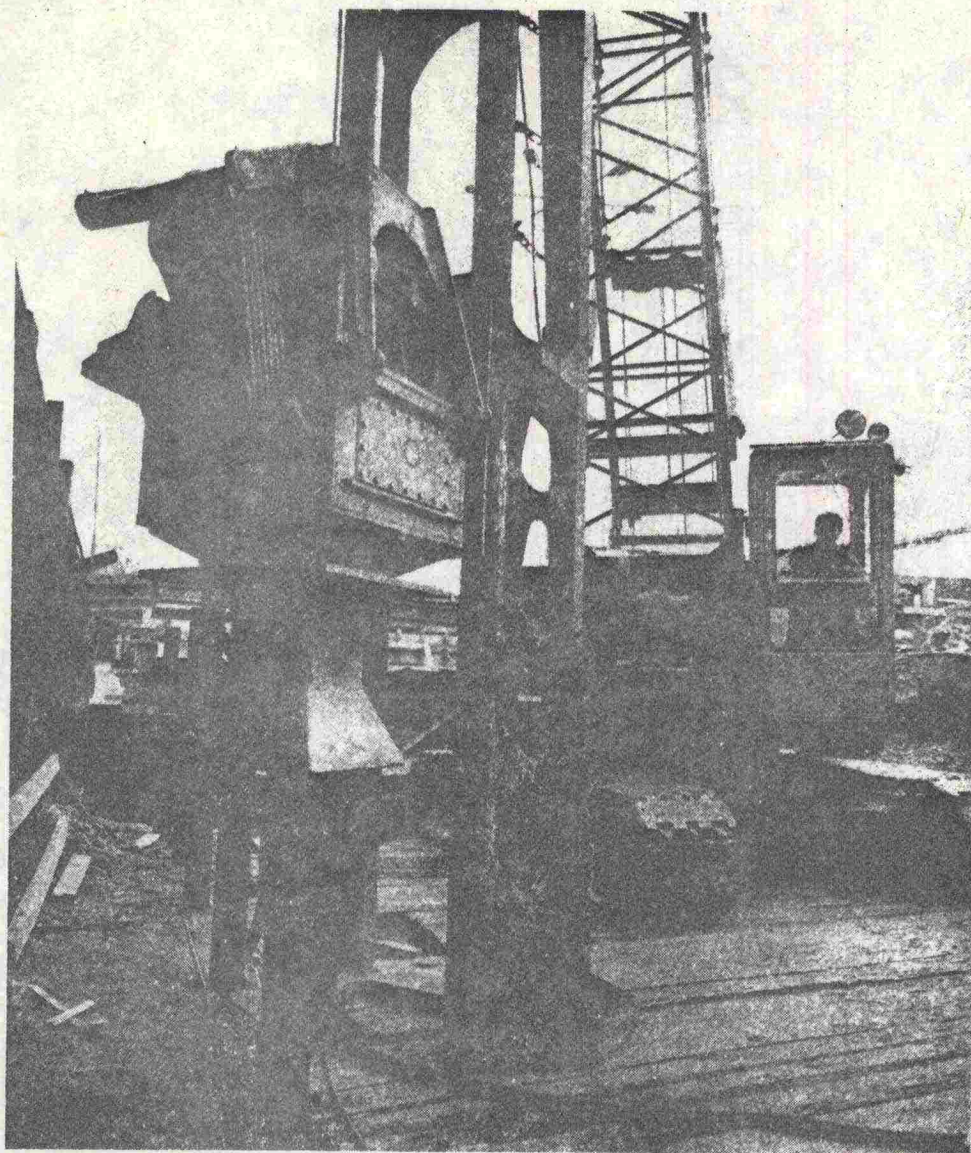
Kuva 7.



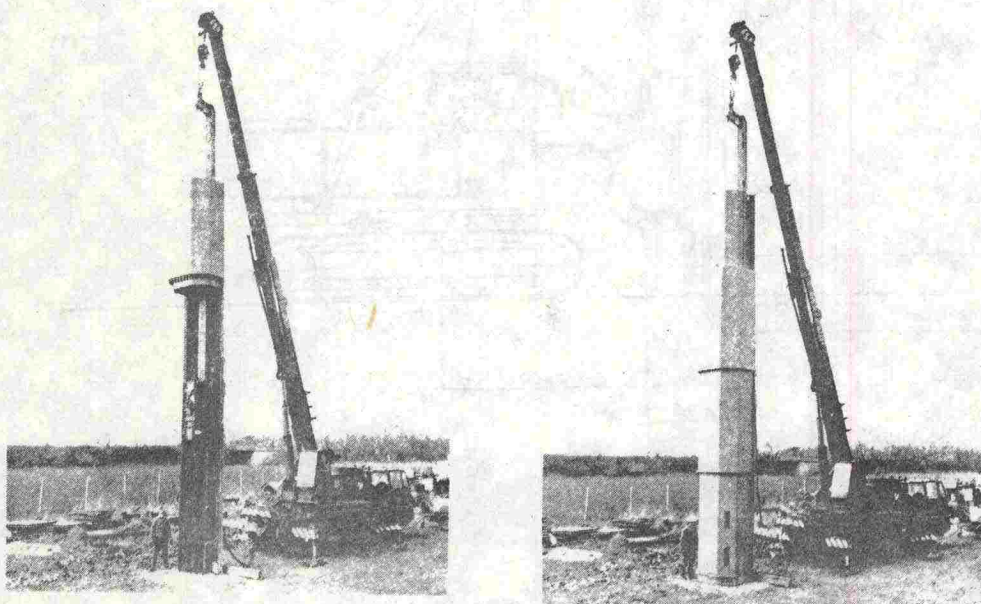
Kuva 7.



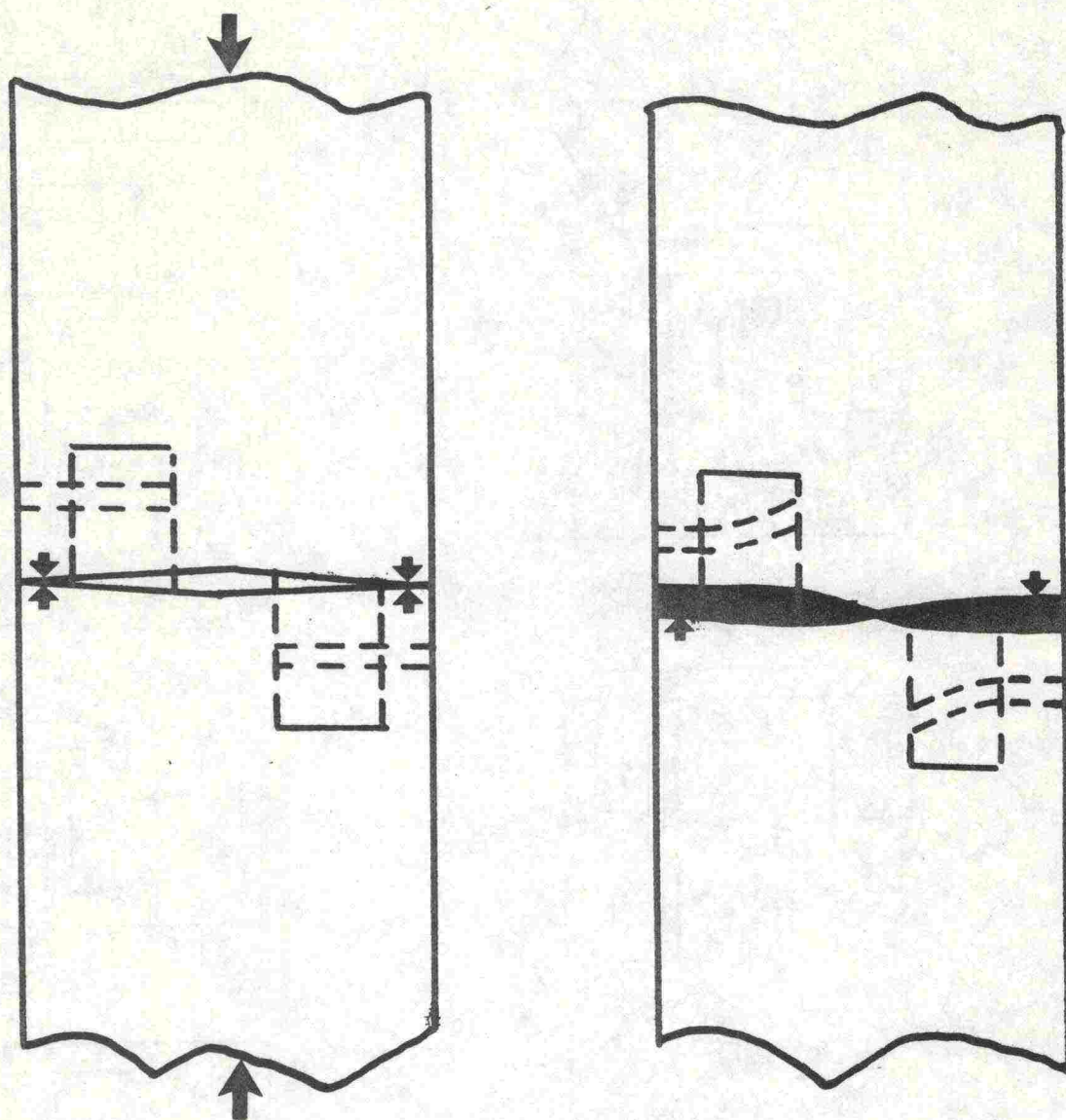
Kuva 8.



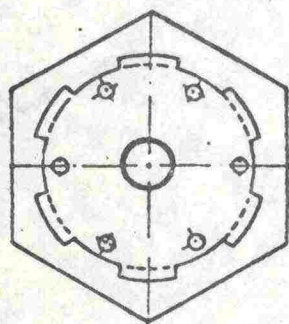
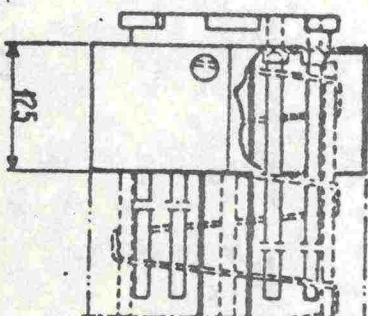
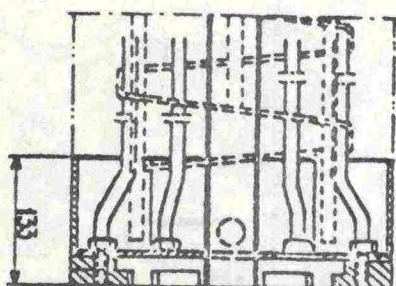
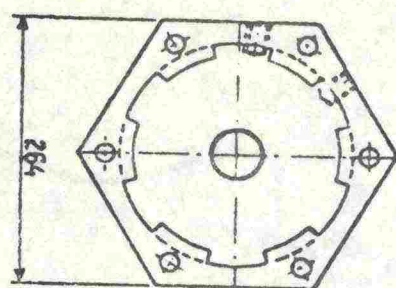
Kuva 9.



Kuva 10.



Kuva 11.



Hercules-jatkos

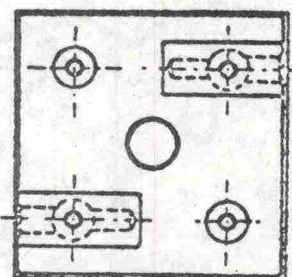
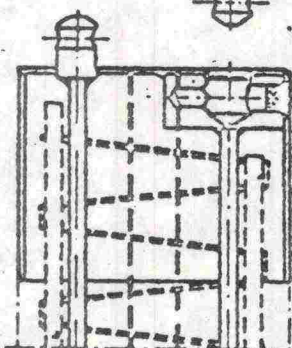
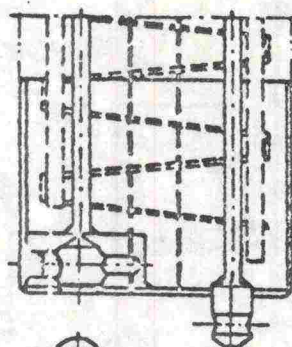
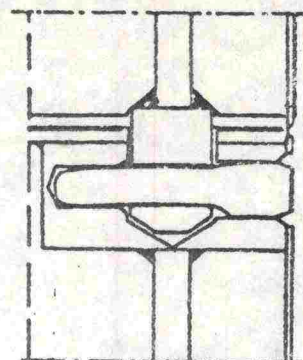
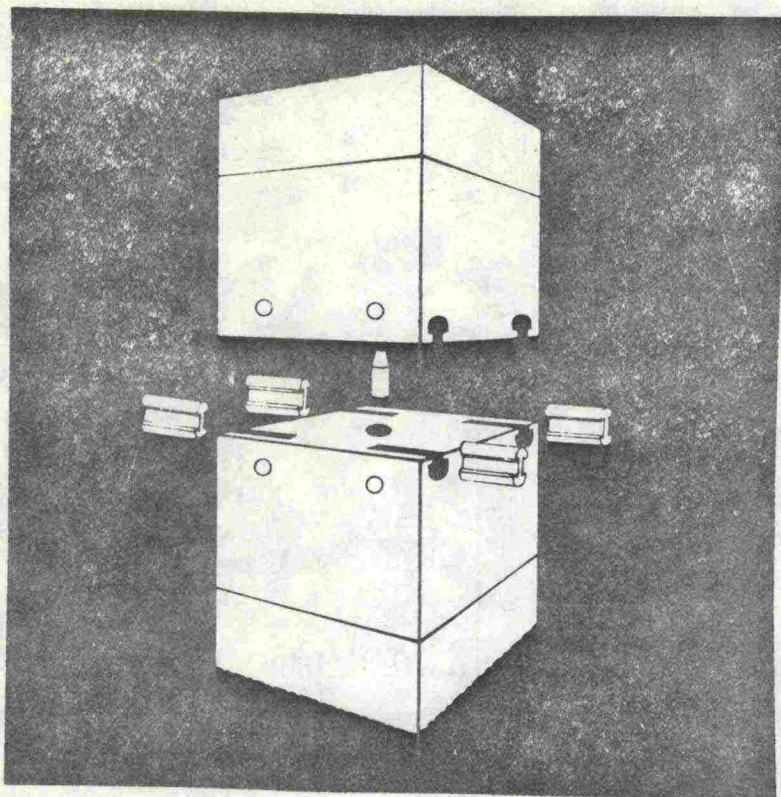
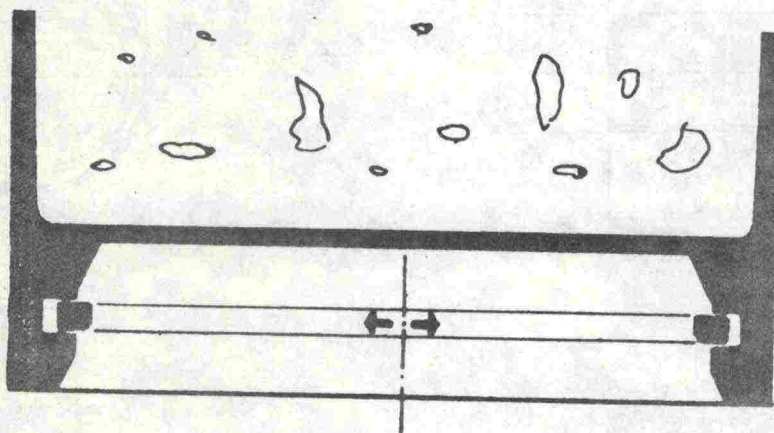


ABB-jatkos



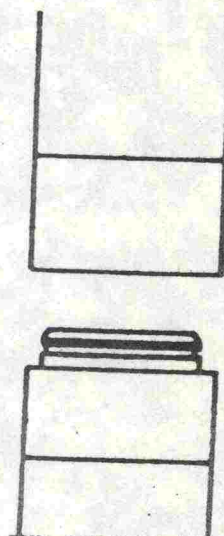
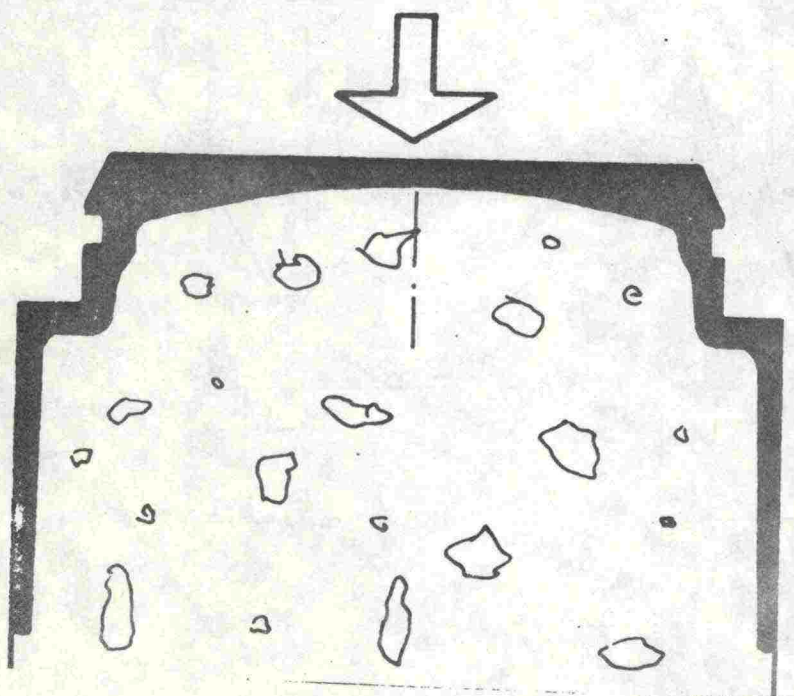
A-jatkos

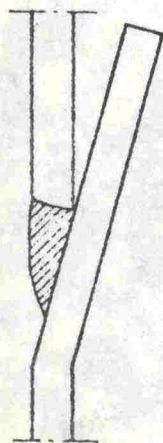
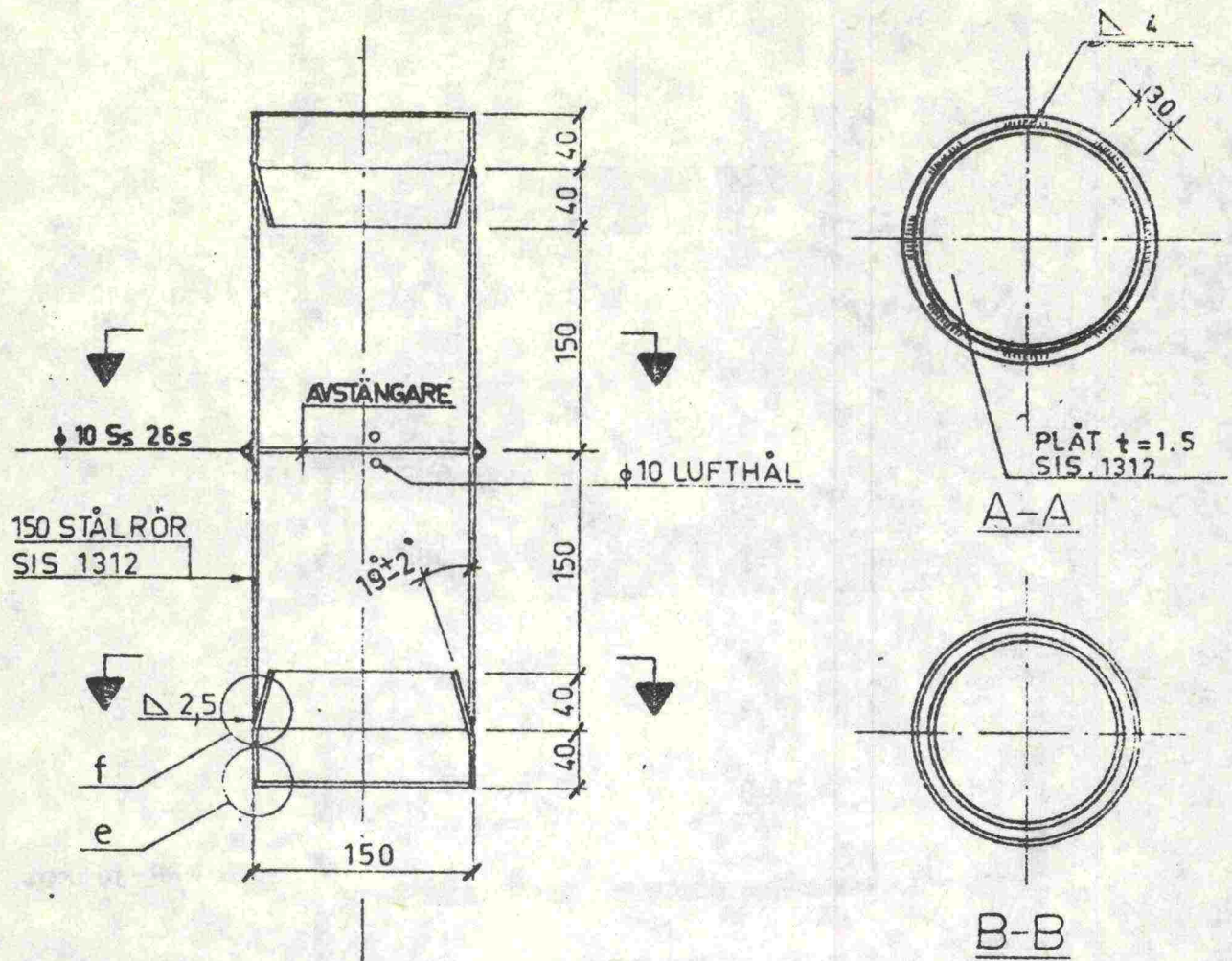
Kuva 13.



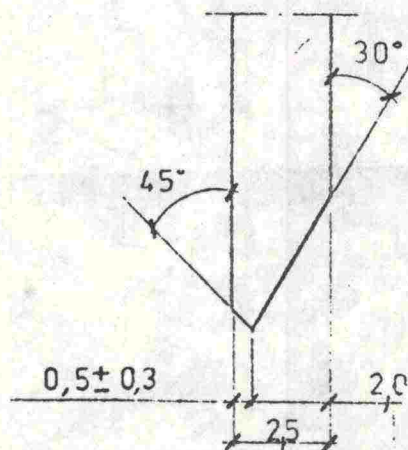
KRR-jatkos

Kuva 14.





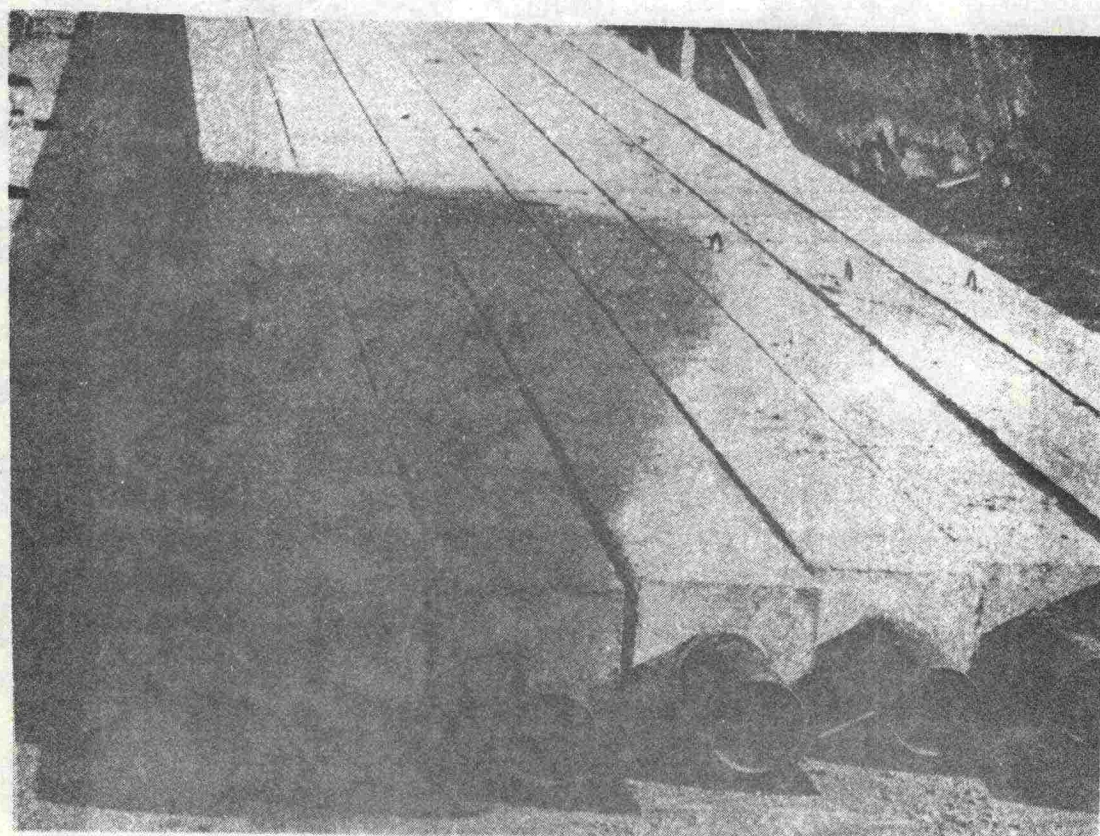
f 2:1



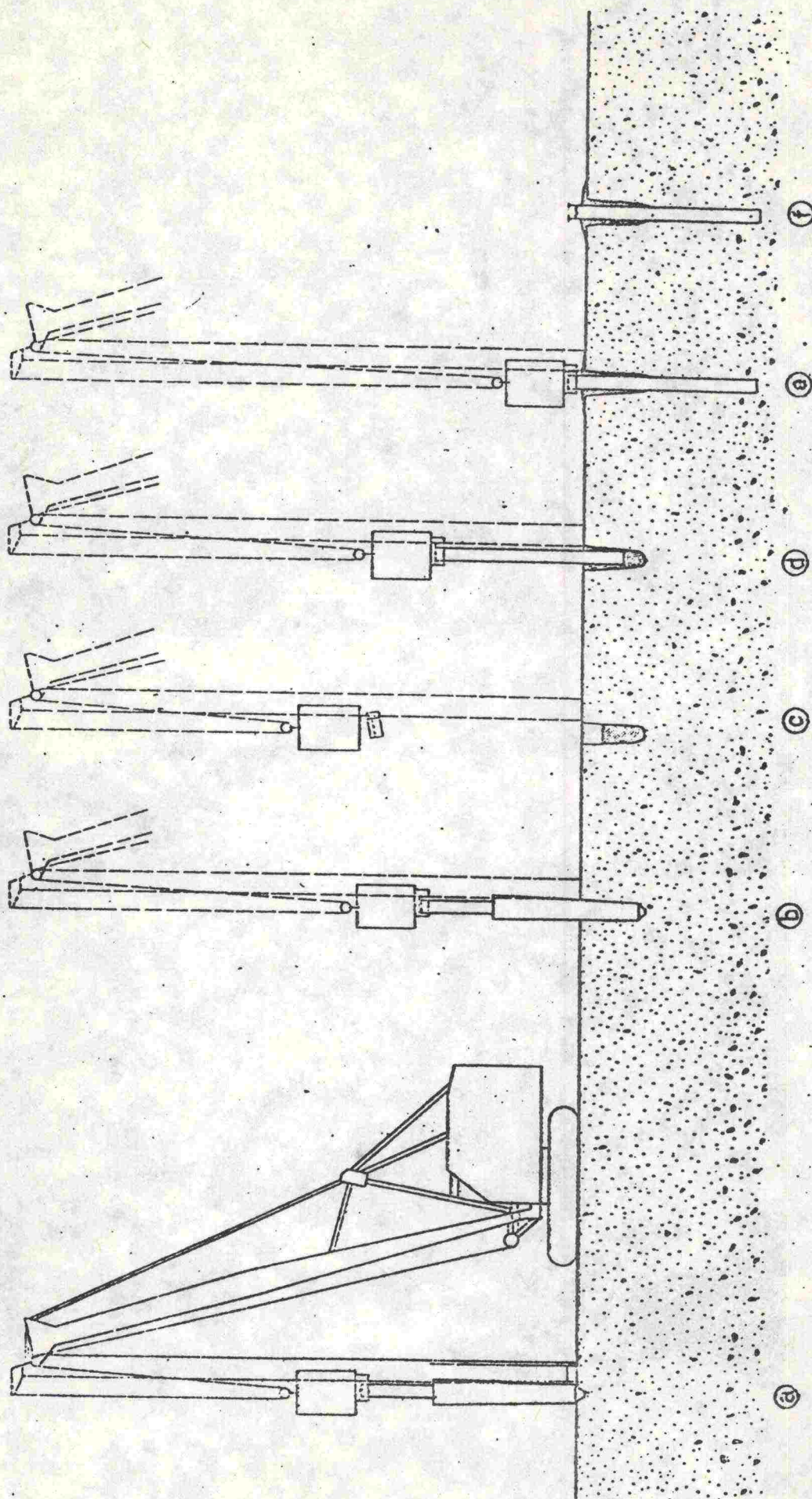
e 5:1

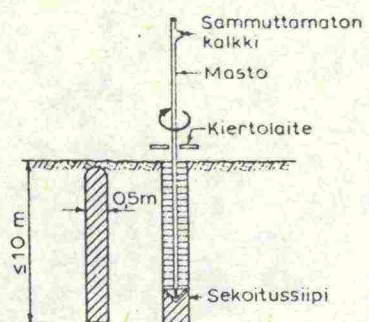


Kuva 16.

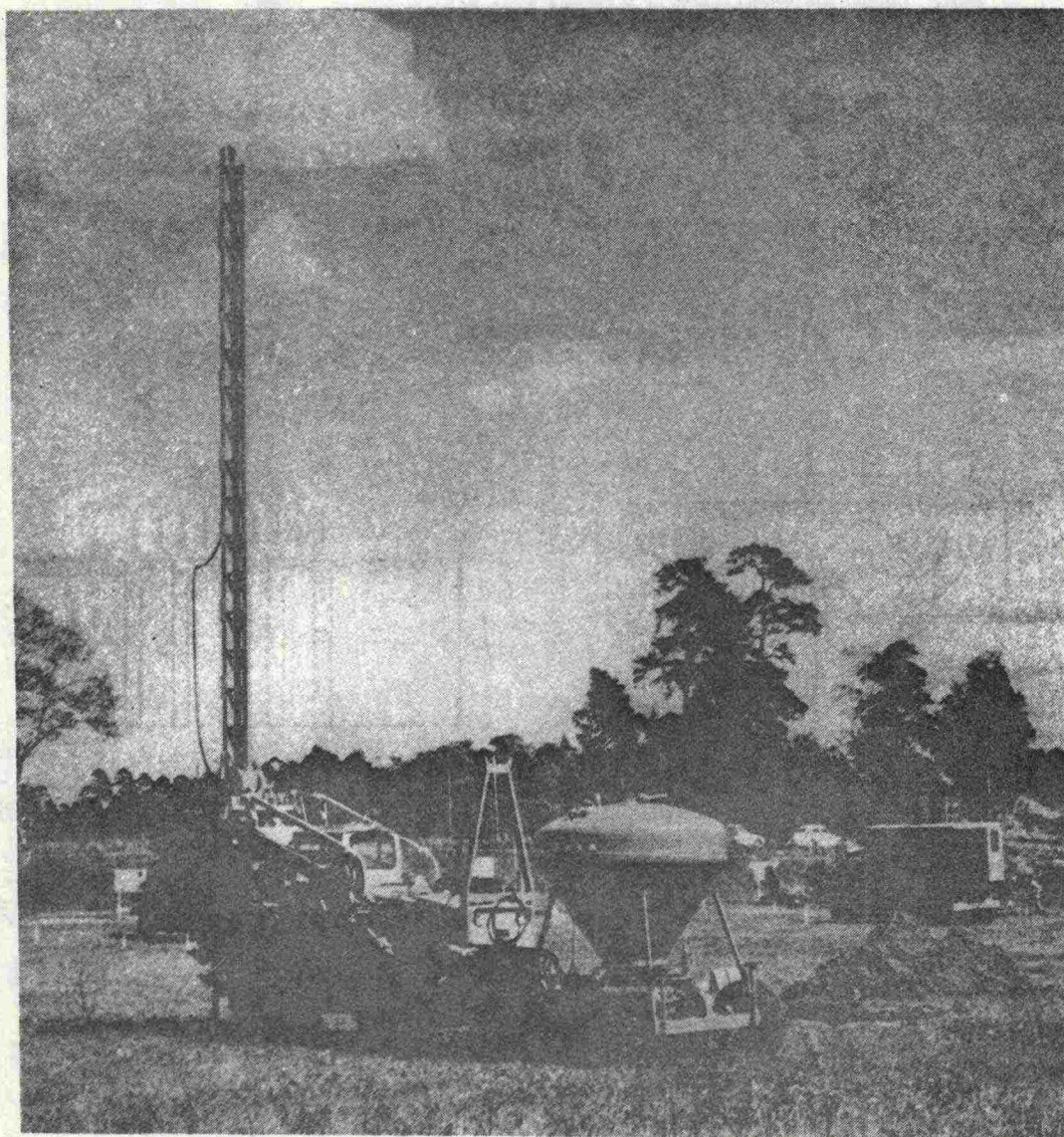


Kuva 17.

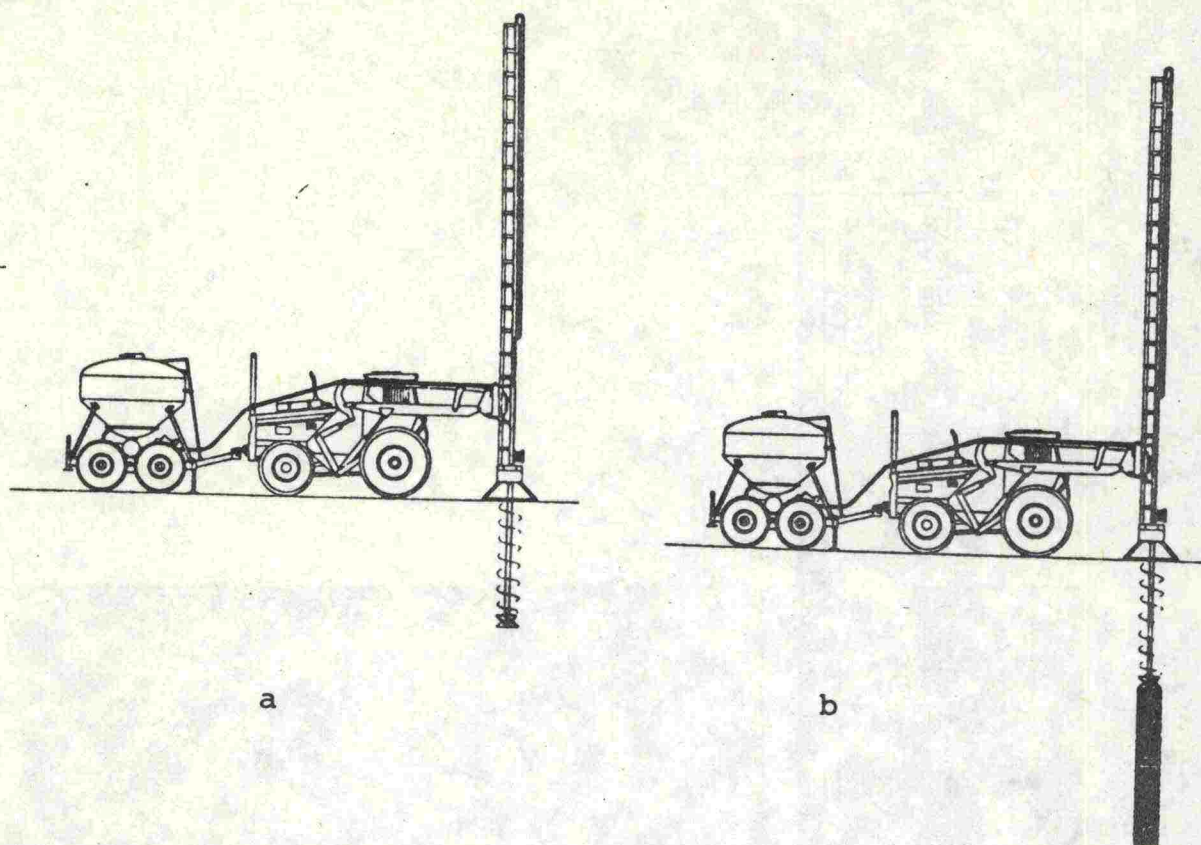




Kuva 19.



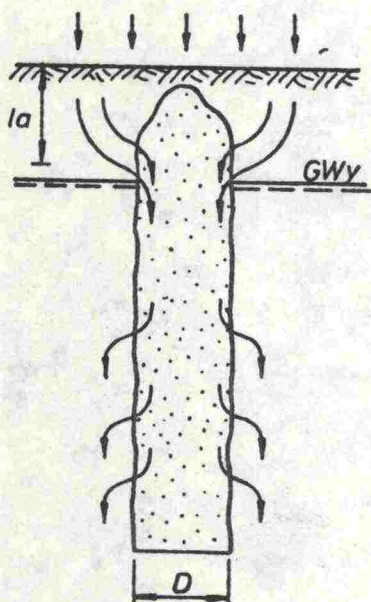
Kuva 20.



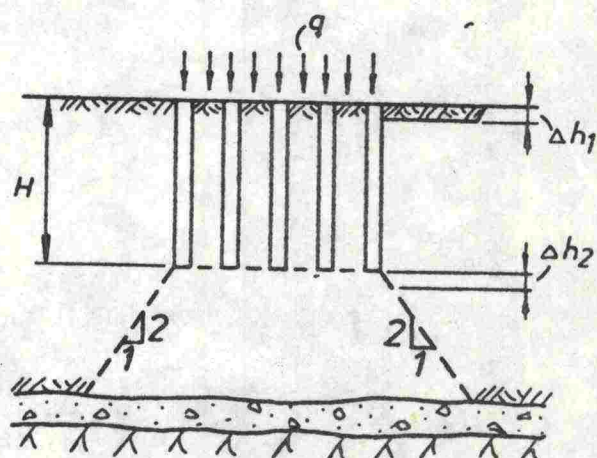
a

b

Kuva 21

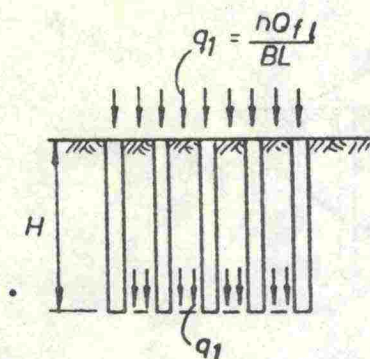


Kuva 22.



Kokonaispainuman määrittäminen

Kuva 23.

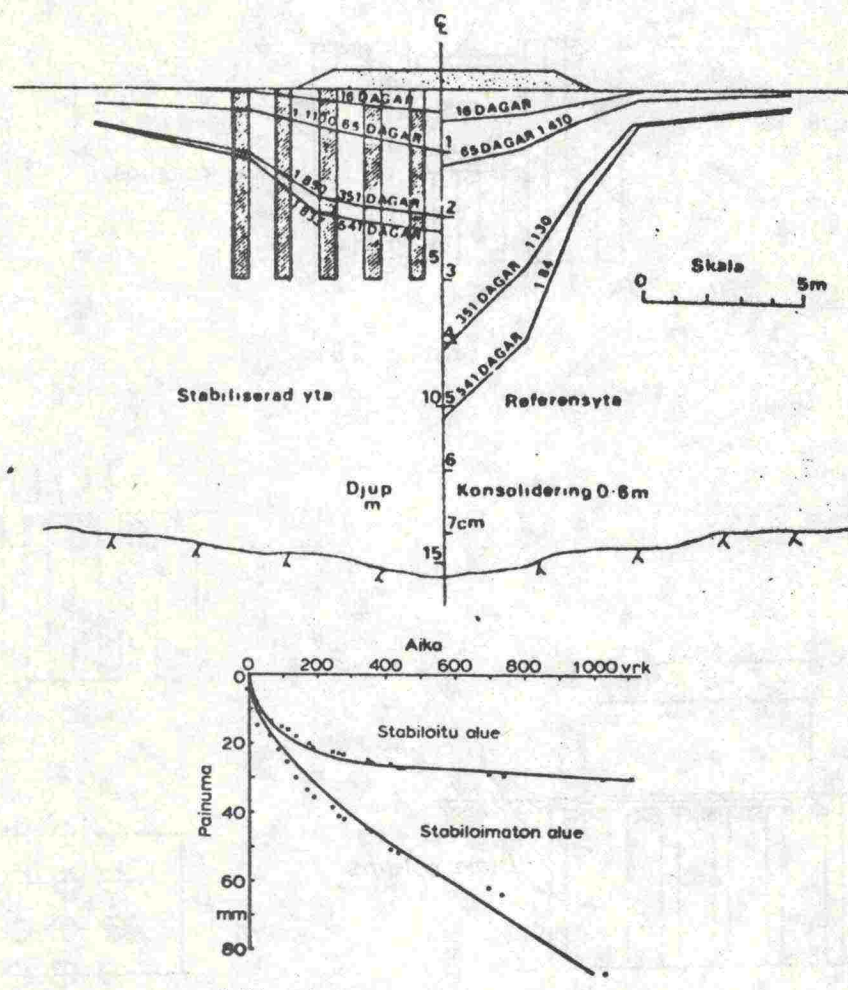


Kuormitus pilareissa

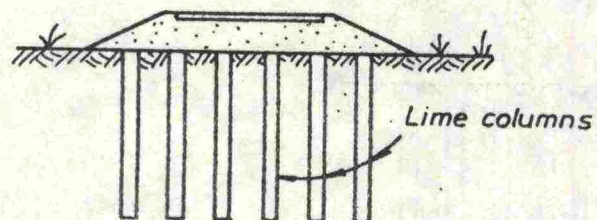
Kuva 24.

Kuormitus pilarien välissä
olevassa savessa

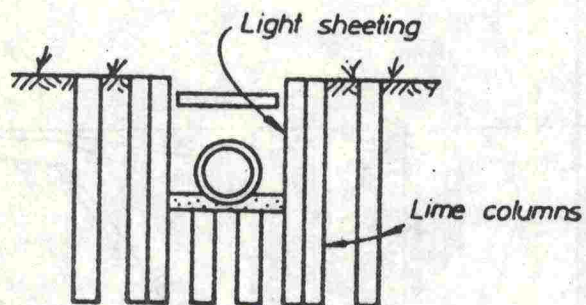
Kuva 25.



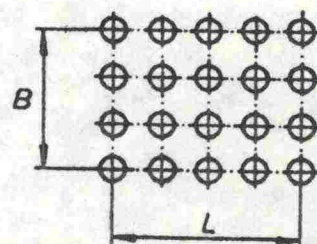
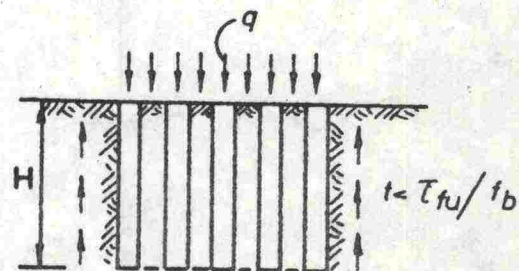
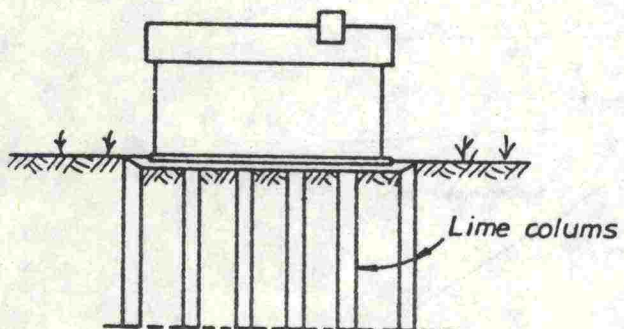
Kuva 26.

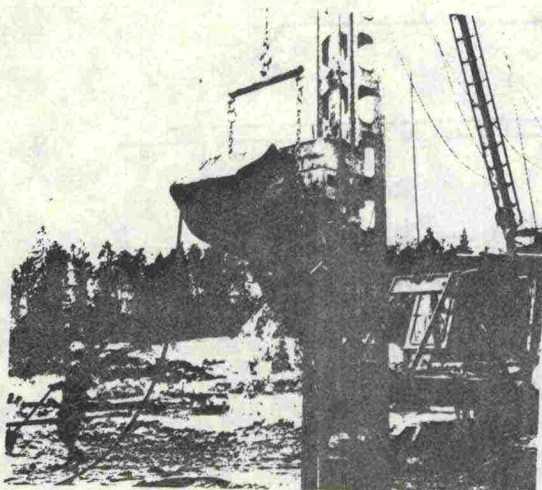


Kuva 27.

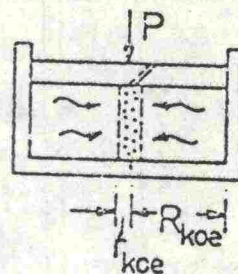


Kuva 28.

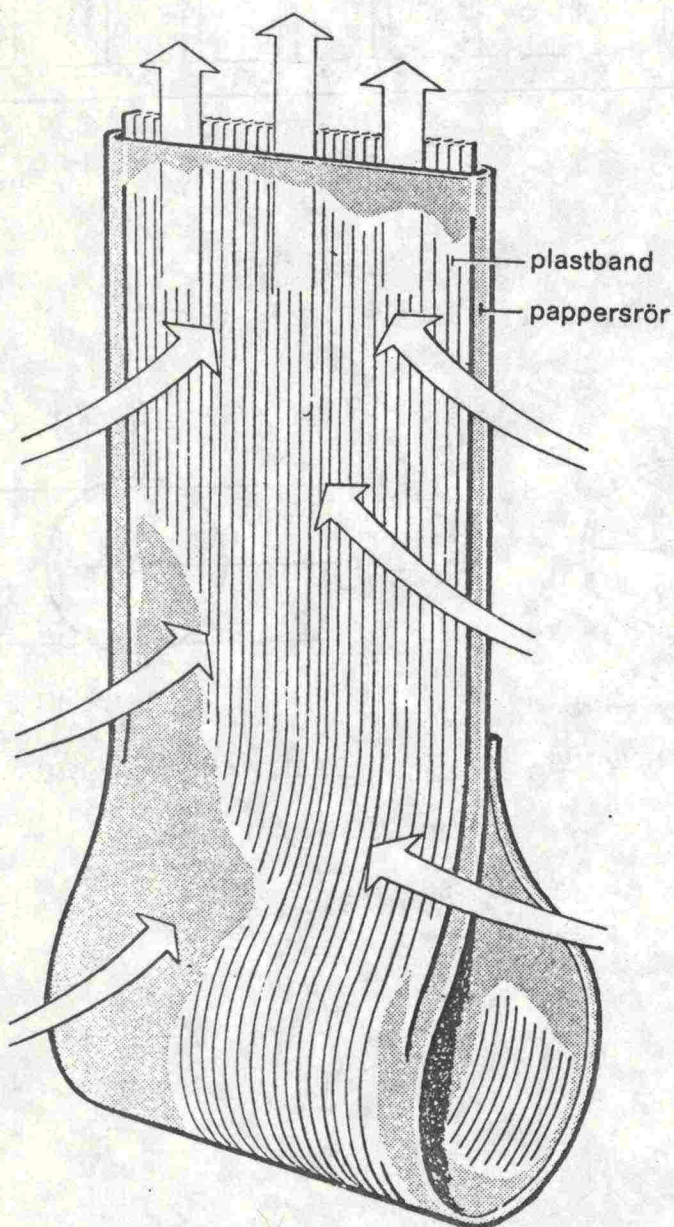




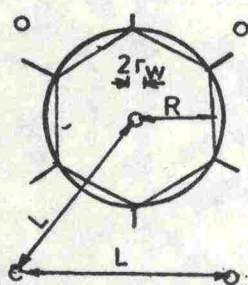
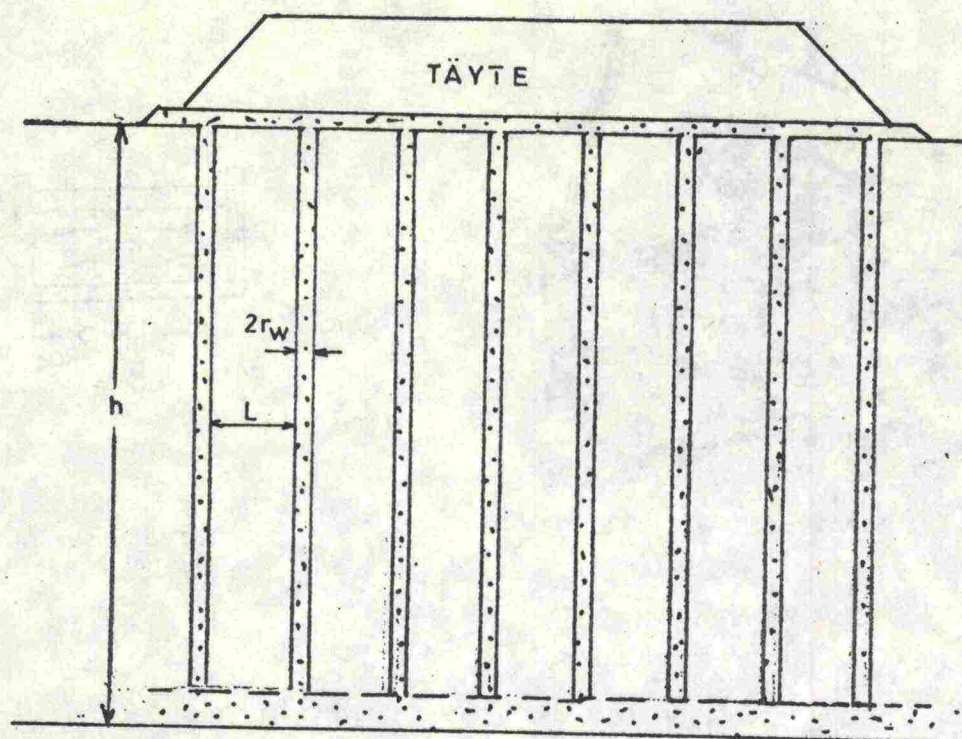
Kuva 30.



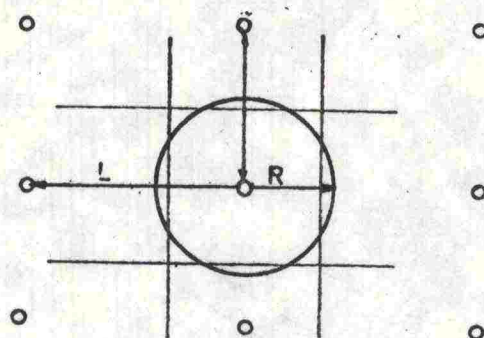
Kuva 33.



Kuva 31.



KOLMIOMAINEN SIJOITUS

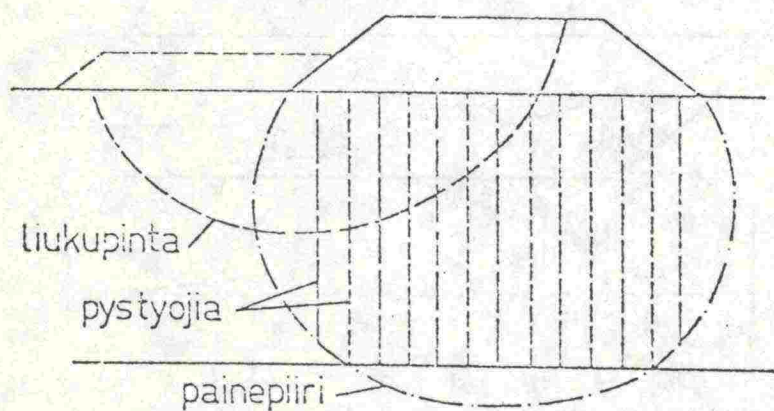


NELIÖMÄINEN SIJOITUS

Kuva 33.

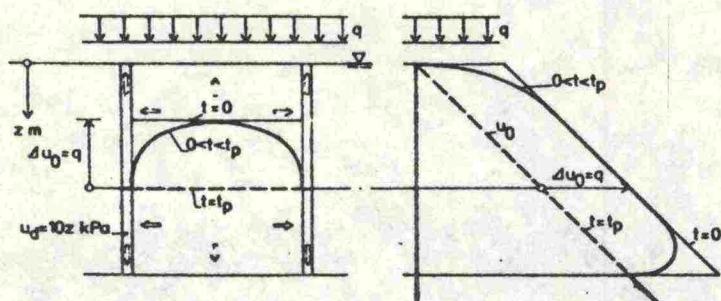


Kuva 32.

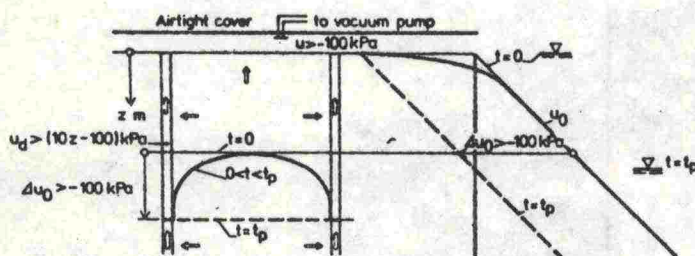


$$\Delta s_{cu} = [\Delta \sigma_z - u(\rho, t)] \tan \phi_{cu}$$

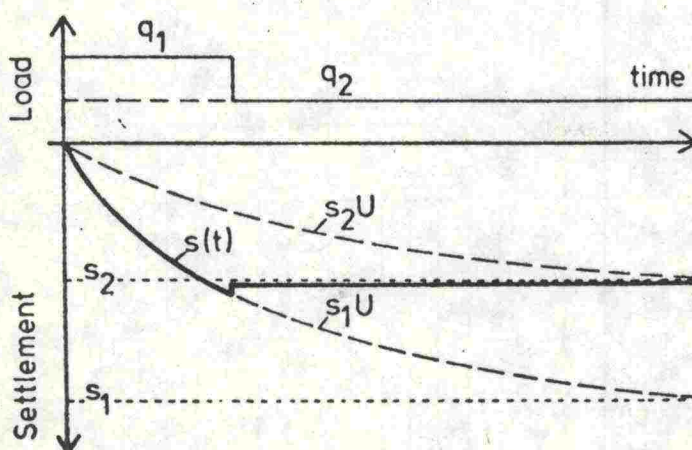
Leikkauslujuuden kasvu pystyöjituksen vaikutukset



Kuva 35.

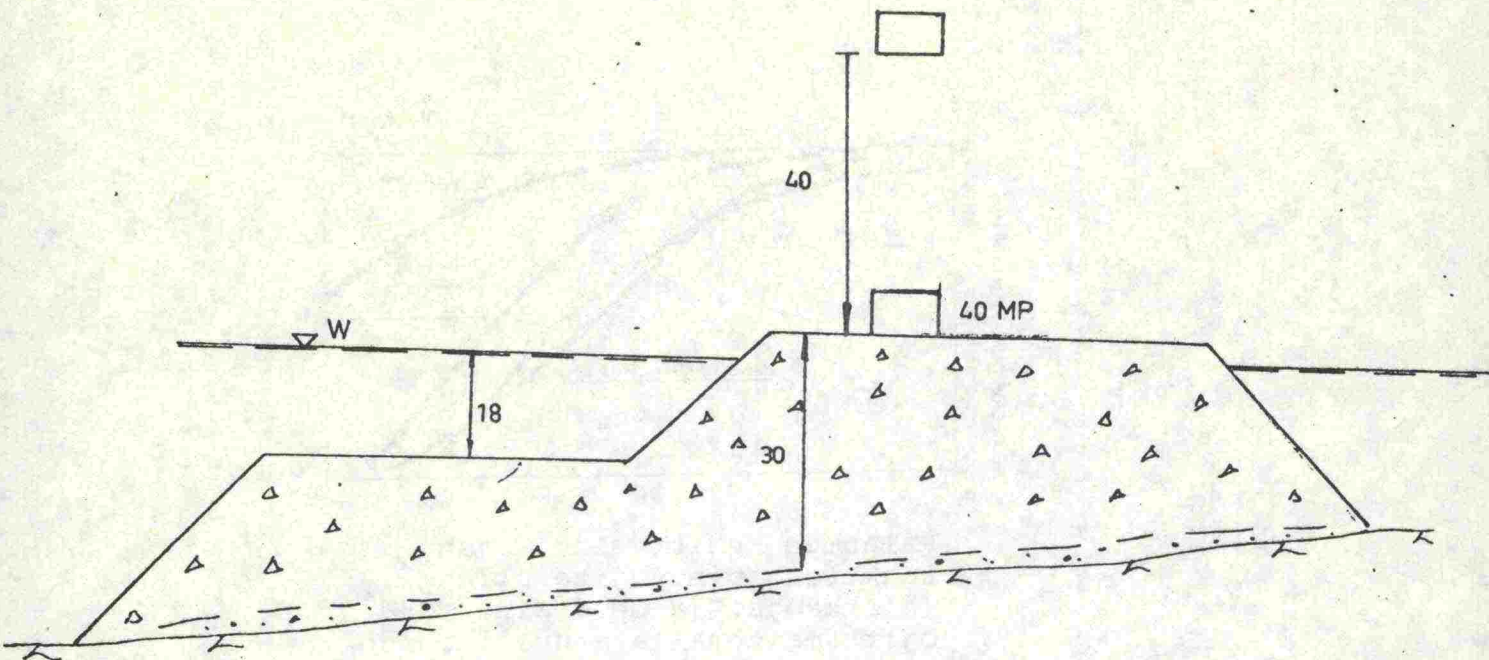


Kuva 36.

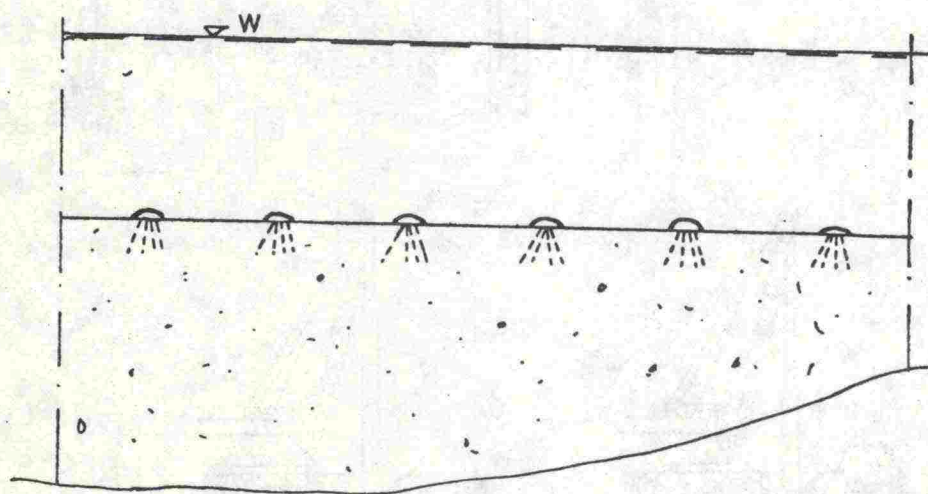


Esikuormituksen vaikutus

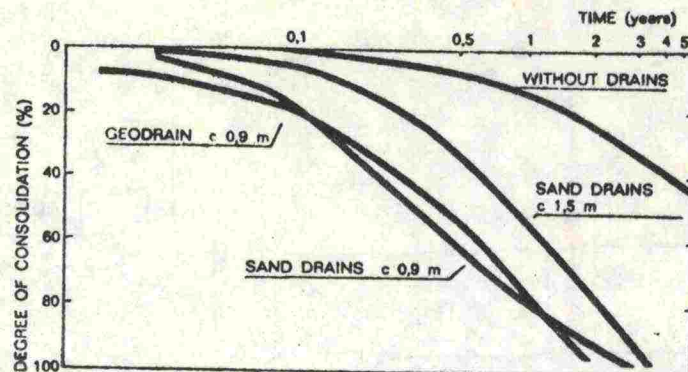
Kuva 37.



Kuva 39.

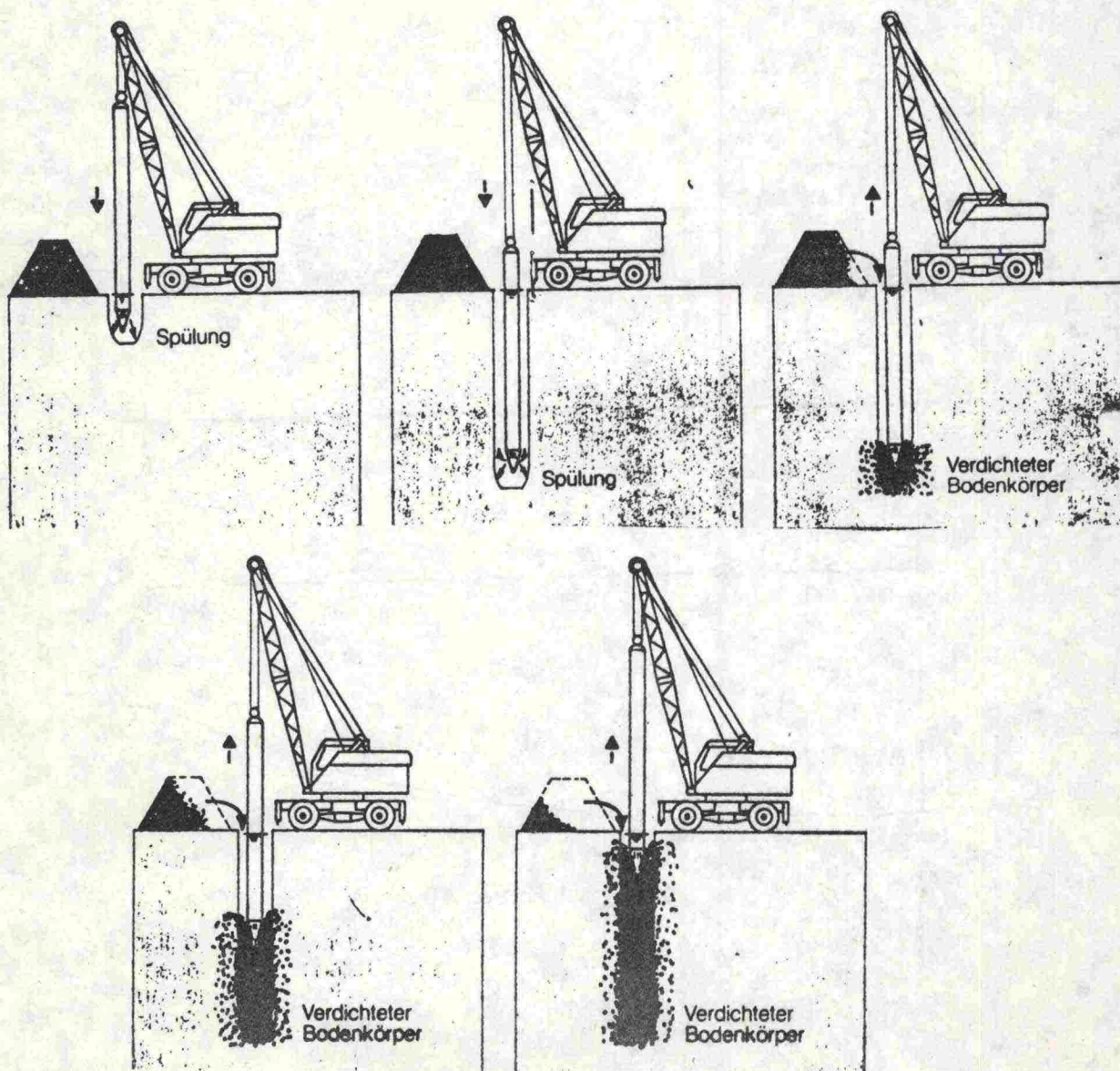


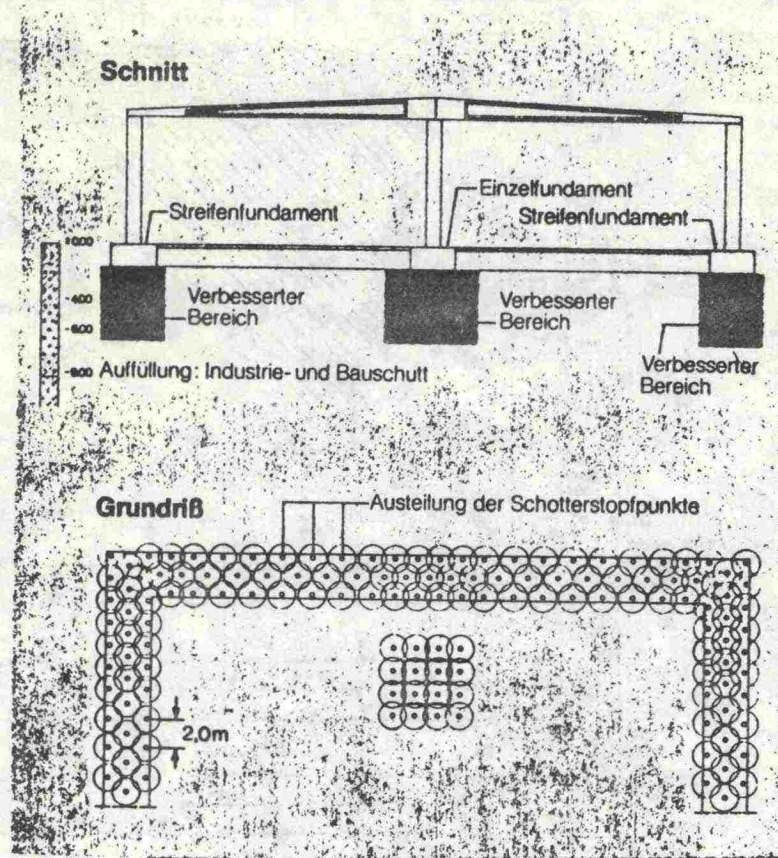
Kuva 40.



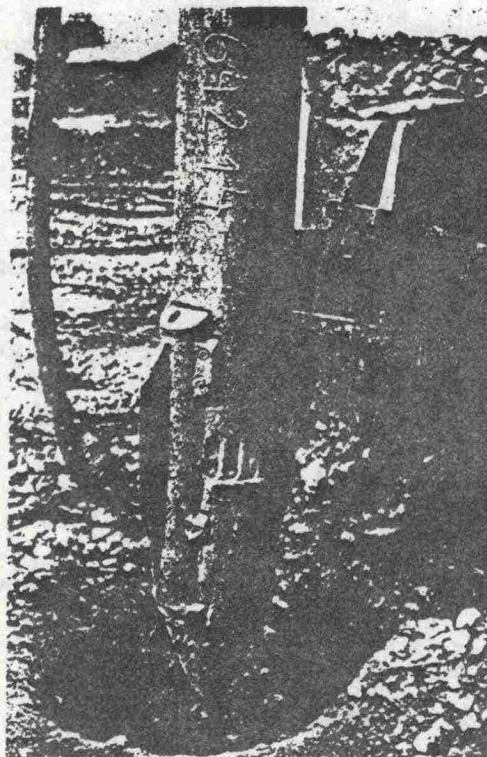
Painuman kehittyminen ajan
funktiona pystyjojitetulla
(hiekkaojat ja Geodrain) sekä
ojittamattomalla alueella.

Kuva 38.

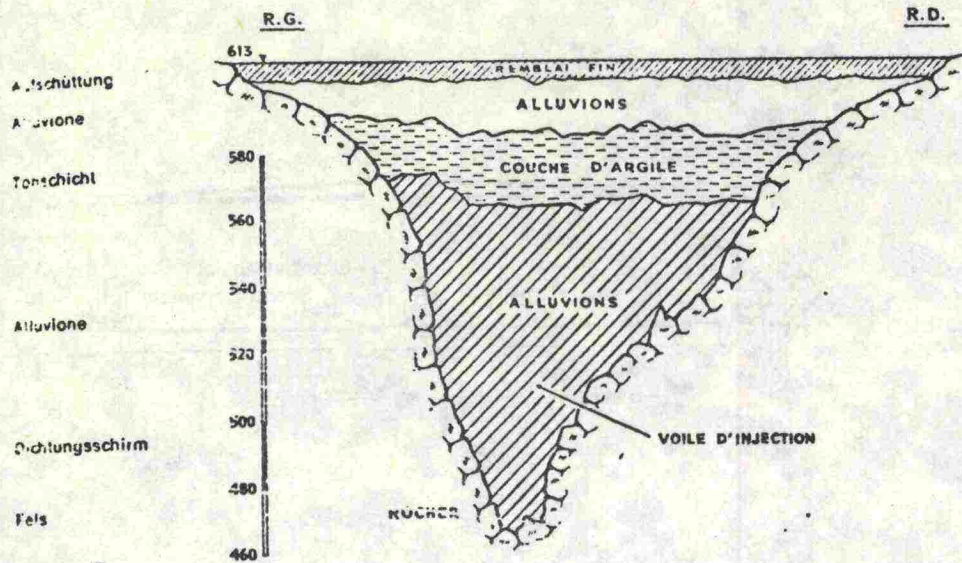




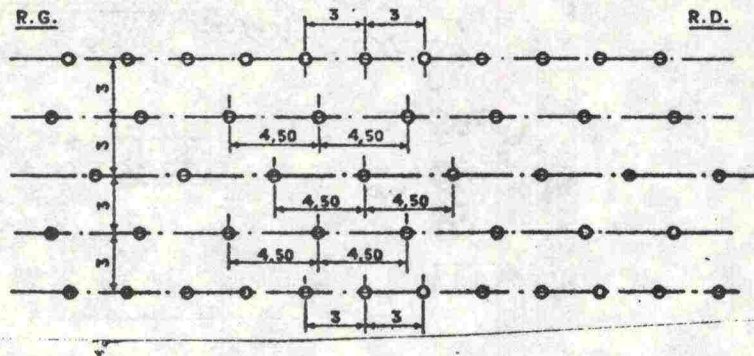
Kuva 42.



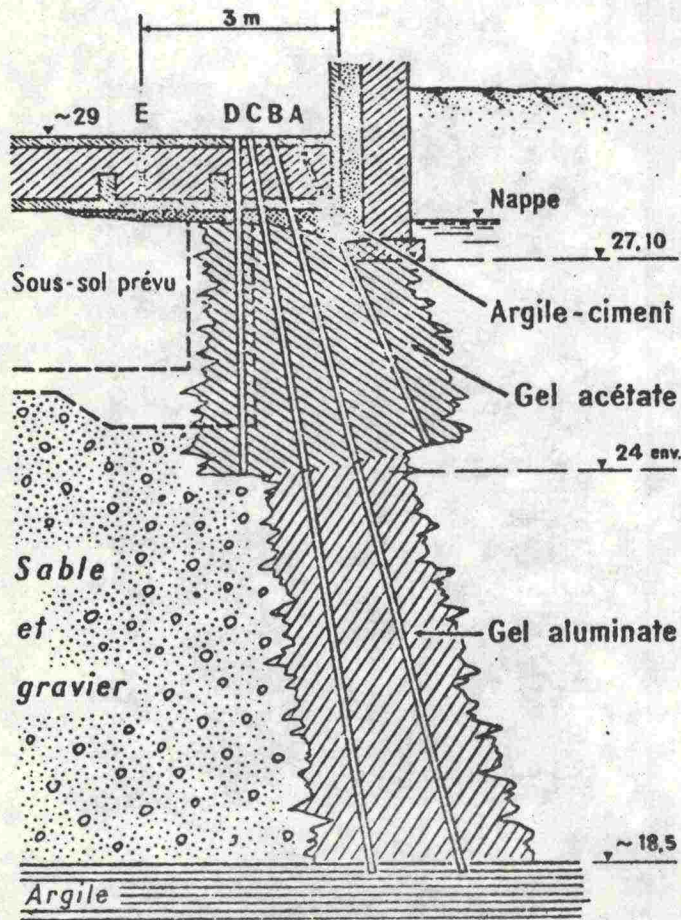
Kuva 43.



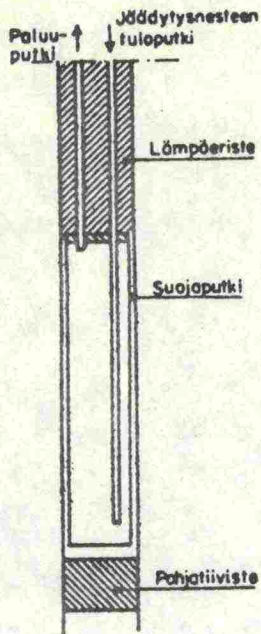
Mission-Damm — Längsschnitt durch das Tal und die injizierten unteren Alluvione



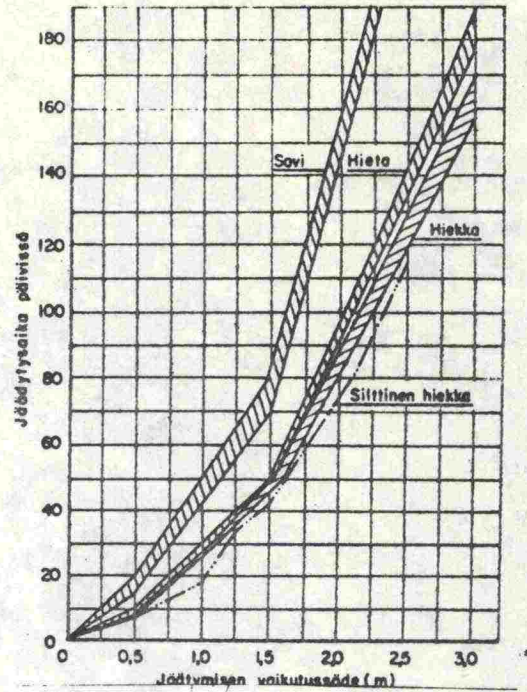
Kuva 44.



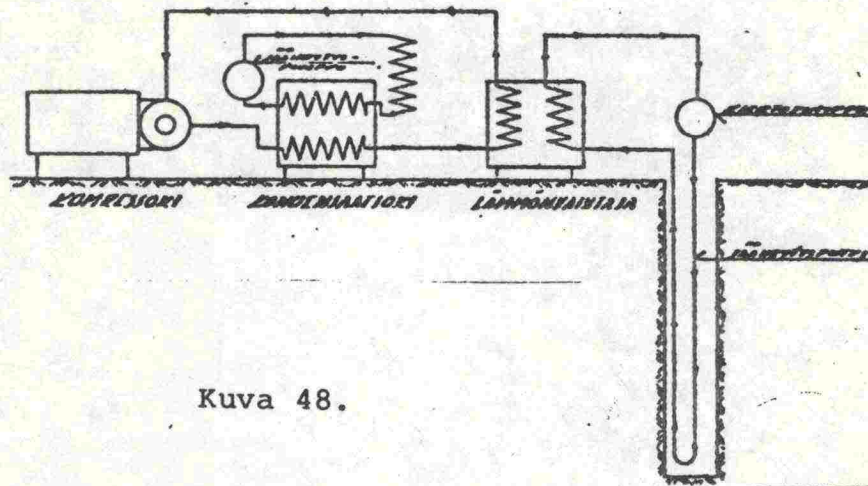
Nappe = Grundwasserspiegel
 Sous-sol prévu = vorgesehene Unterkellerung
 Argile-ciment = Ton-Zement
 Gel acétate = Azetat-Gel
 Sable et gravier = Sand und Kies
 Gel aluminat = Aluminat-Gel
 Argile = Ton
 24 env. = ca. 24



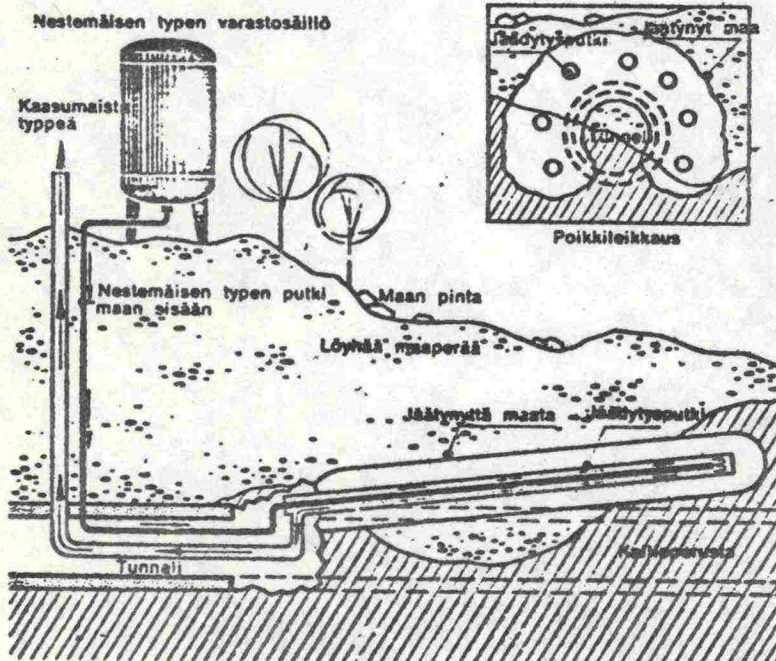
Kuva 46.



Kuva 47.



Kuva 48.



Tekniset arvot

Kemiallinen merkki	N ₂
Molekyylipaino	28,02
Kiehumapiste (höyrystymislämpötila)	-195,8°C
Ominaispaino nestemäisenä (-195,8°C)	0,81 kg/dm ³
kaasumaisena (+15°C 760 mm Hg)	1,19 kg/m ³

Kuva 49.

Tekn.tri Asko Saarela

PENGERTÄMINEN JA PENKEREIDEN PERUSPARANTAMINEN

1. P E N G E R T Ä M I N E N

1.1 PENGERTÄMISTAVAT

Pengertämisellä voidaan ymmärtää maa- tai kalliopohjan korottamista jollain materiaalilla. Pengerrys sisältää laajasti ottaen materiaalin kuormauksen, kuljetuksen, levityksen, tiivistyksen ja rakenteen viimeistelyn. Pengerrys tulkitaan usein käsittämään vain levitystyön, jolloin voidaan erottaa eri pengerrystapoja: altapengerrys, päältäpengerrys, kerrospengerrys, päätypengerrys, kiilapengerrys ja sivultapengerrys. Menetelmät poikkeavat toisistaan lähinnä kuormien tyhjennyssuunnan ja levitystavan osalta.

Altapengerrys

Altapengerrys tarkoittaa sitä, että kuormat tyhjennetään penkereen etenemissuuntaa vasten. Sen sijaan levitys tapahtuu etene- missuunnassa. Kuormien tyhjennys tulisi suorittaa korotuksen etureunalle, josta levityskone työntää materiaalin eteenpäin tasavahvuiseksi kerrokseksi. Tällöin välttyään materiaalin erottumiselta ja rajakohdilta. Altapengerrys soveltuu, jos pohjamaa on riittävän kantava kuljetukseen (näin on esim. talvella maan ollessa jäässä). Altapengerryksellä rakennettavia rakenteita ovat mm. penger, suodatinkerros ja kevytsorapenger.

Päältäpengerrys

Päältäpengerrys eroaa altapengerryksestä kuormien tulosuunnan osalta: kuljetus tapahtuu valmiin kerroksen päällä. Kuormien tyhjennys tapahtuu valmiin kerroksen etureunalle, josta kasat työnnetään eteenpäin tai alaspäin tapauksesta riippuen. Päältäpengerrystä käytetään, mikäli pohjamaa ei kanna kuljetusta, mutta valmis kerros kantaa.

Riippuen levitystavasta ja kerrospaksuudesta puhutaan kerros-, pääty- ja kiilapengerryksestä.

Kerrospengerryys

Kerrospengerryys tarkoittaa sellaista pengerrystapaa, jossa materiaali levitetään suhteellisen ohuena kerroksena eteenpäin. Kerrospaksuus on ainakin pienempi kuin kuormasta tuleva läjä materiaalia; yleensä kerrospaksuus on 0,1...1,0 m. Kuormien tyhjennys voi tapahtua joko alta tai päältä päin.

Päätypengerryys

Päätypengerryksessä materiaali työnnetään jo levitetyn paksuuden kerroksen päältä alas (lähes kohtisuoraan). Paksusta kerroksesta johtuen kuormien tyhjennys suoritetaan päältä käsin. Kerralla rakennettavan kerroksen paksuus voi olla useita metrejä (esimerkiksi 2...5 m).

Kiilapengerryys

Kiilapengerryksessä materiaali työnnetään valmiin kerroksen reunalta alas kiilamaisesti (1:4...1:6). Alastyönnettävän kerroksen paksuus on noin 0,3...0,5 m. Pengerryys on varsin tehokasta silloin, kun kukin kiilakerros tiivistetään vielä erikseen. Kiilapengerryistä voidaan käyttää myös rakennekerrosten rakentamisessa, jolloin kuormat voidaan tyhjentää joko alta tai päältä päin.

1.2 ESIMERKKEJÄ PENGERRYKSESTÄ

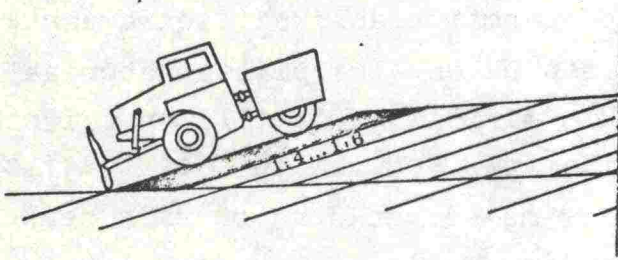
1.21 Penkereiden rakentaminen

Penkereiden rakentamistapa riippuu materiaalista, penkereen korkeudesta ja pohjamaasta (mikäli kyseessä on uuden penkereen teko).

Kitkamaapenger

Kitkamaapenger (moreeni-, sora-, hiekka- jne.penger) voidaan rakentaa kaikilla em. pengerrystavoilla. Mikäli laatuvaatimuksia ei ole tai ne ovat alhaiset, voidaan käyttää päätypengerrystä koko kerrospaksuudella. Muussa tapauksessa käytetään yläosassa kerrospengerrystä tai koko kerroksen osalla kiilapengerrystä.

Kiilapengerrys on suositeltava tapa rakentaa kitkapenkereitä varsinkin, jos on käytettävissä itsekulkeva jyrä, jossa on pus-kulevy. Tällöin penger tulee kauttaaltaan homogeenisesti tiivistetyksi - kiilan kärkiosa jopa muuta osaa tiiviimmäksi. Lisäksi talvirakentamisessa välttyään kerrospengerryksen ongelmasta, kerrosten rajakohtien jäätymisiltä ja lumipeitteiltä.



Kuva 1. Kiilapengerrys

Kiilapengerrystä lukuunottamatta muilla pengerrystavoilla riippuu kerralla rakennettavan kerroksen paksuus tiivistyskoneesta. Ras-kaillakaan (yli 10 t) täryjyrillä ei kyetä tiivistämään enää riit-tävästi yli 1,0...1,2 m paksuja kitkamaakerroksia.

Louhospenger

Louhospenkereellä tarkoitetaan louheesta, lohkarista ja /tai karkeasta murskeesta tehtyä pengertä. Louhospenger rakennetaan yleensä sellaiseksi, että penkereen yläosa pyritään tekemään alaosa pienemmästä louheesta ja yläpinta kiilataan lopuksi esim. karkealla sepelillä tai murskesoralla.

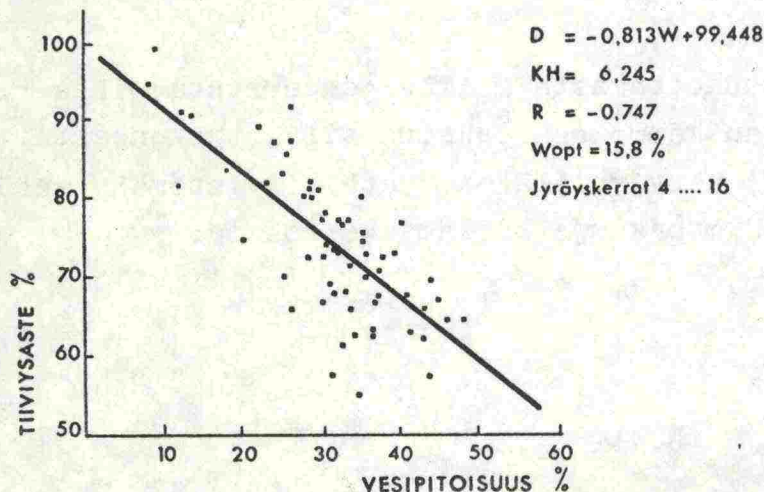
Louhepenger rakennetaan useimmiten päätypengerrysmenetelmällä. Matalissa ja pientä louhetta käytetyissä penkereissä menetelmä muistuttaa kerrospengerrystä. Penkereen yläosa ja kiilauskerros levitetään kerrospengerryksenä.

Kaikki louhospenkereen osat, alaosa, yläosa ja kiilauskerros tulisi tiivistää erikseen vähintään 5 t vedettävää täryjyrää vastaavalla täryjyrällä 6...12 kertaa.

Tienrakentamisessa louhepenkereen tiiviys- ja kantavuusvaatimukset ovat samat kuin jakavalla kerroksellakin.

Savipenger

Savea ei yleensä hyväksytä pengermateriaaliksi tienrakennuksessa. Savipenkereen rakentamisen pääongelma piilee materiaalin tiivistyksessä, joka varsinkin märillä savimailla on toivotonta (ks. kuva 2.) Jos vesipitoisuus on yli 10 % ei tiivistäminen ole enää kannattavaa. Välittömänä seurauksena on vain penkereen paisuminen (saven elastiset ominaisuudet).



Kuva 2. Savipenkereen (paksuus 1 m) tiiviysasteen riippuvuus

Jos penger välttämättä halutaan tehdä savesta, tulee penger tehdä mekaanista rakennustapaa käytettäessä kerroksittain (maks.kerros-paksuus 0,40 m), minkä lisäksi kerrosten väliin tulisi rakentaa suodatinkerros kuivatuksen parantamiseksi. Sivuuttaissiirtymien välttämiseksi kokonaispengerkorkeus tulee olla matala.

Koska savimateriaalin suuri vesipitoisuus vaikeuttaa savipenkereen tiivistymistä, lienee aiheellista ainakin harkita saven käsittelyä kalkin avulla.

1.22 Rakennekerrosten rakentaminen

Rakennekerrokset tehdään yleensä kerrospengerryksellä. Puskulevylä varustettua kumipyöräjäyrää käytettäessä menetelmä muistuttaa kiilapengerrystä.

Suodatinkerros

Suodatinkerros tehdään joko alta- tai sivultapengerryksenä. Perusparannustöissä suodatin- ja jakava kerros tehdään usein peräkkäin puoli tienleveyttä kerrallaan yleisen liikenteen takia. Tällöin molemmat kerrokset tiivistetään samanaikaisesti raskaalla tai keskiraskaalla täryjyrällä.

Jakava kerros

Jakava kerros tehdään yleensä aina päältäpengertämällä ja etenemällä joko kerrosmaisesti tai kiilamaisesti. Puolitietä kerrallaan tehtäessä on suositeltavaa käyttää sivultapengerrystä, koska muutoin levitystyö vaikeutuu kuormien tyhjennyksen takia (levityskone joutuu aina siirtymään sivuun kuormien tyhjennyksen ajaksi).

Kantava kerros

Kantavan kerroksen materiaali levitetään yleensä joko tiehöylälä tai levityskelkalla. Sellaisissa tapauksissa, joissa kantava kerros on poikkeuksellisen paksu (esim. jakava ja kantava kerros samaa kiviainesta) rakennetaan kerros kahdessa osassa. Tällöin alimman kerroksen teossa voidaan käyttää myös muita levityskoneita (TRN 06P, PT 05). Pengerrys tapahtuu yleensä aina alapäin.

2. R A K E N T E E N L E V E N N Y K S E T

2.1 TARKOITUS JA ONGELMAKENTTÄ

Perusparannustöiden tarkoituksena on mm. tien liikennöitävyyden parantaminen. Tavanomaista on, että vanhaa tietä levennetään päällysteen osalta 1,5 - 2,5 m. Kun samalla kantavuus-, tasaus- yms. syistä tietä usein korotetaan laajenee vanha tie alueeltaan näin useita metrejä.

Levennystyö vaikuttaa yksinkertaiselta. Sitä se ei kuitenkaan ole. Usein puhutaan luiskan täytöstä, jolloin sananmukaisesti tien molemmiin puolin ajetaan pengermassoja, sitten tasoitetaan kaivinkoneella ja niiden päälle ajetaan suodatin- ja jakavan kerroksen massat. Näin ei pelkästään pidä menetellä.

Vanhan tien piennar ja luiska ovat usein humuspitoista maata, jotka tulee leikata pois. Tärkeätä on tietää vanhan tien rungon kantavuus ja routivuus sekä pohjamaan laatu. Jos jostain em. syystä vanha tienrunko kaivetaan pois, ei levitys sinänsä ole ongelma. Jos sen sijaan vanhaa tien runkoa ei poisteta, kuten yleistä on, saattaa levennys olla ongelmallinen.

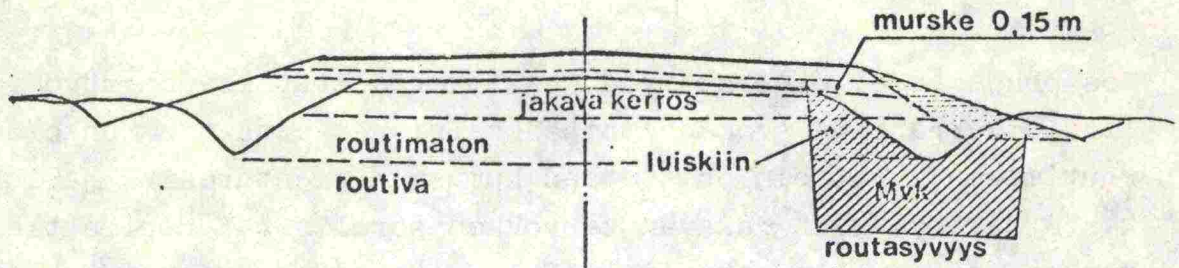
Tien leventäminen tulee pyrkiä suorittamaan molemmille puolilla vanhaa tietä saman suuruisena. Rakenteellinen ratkaisu voidaan jakaa sen mukaan, onko vanha rakenne routivaa vai routimatonta. Edellisessä tapauksessa usein pohjamaakin on routivaa.

3.2 LEVENNYKSEN RAKENNETAPOJA

1. Pohjamaa routiva ja tienrunko routimaton (rungon kantavuus hyvä)

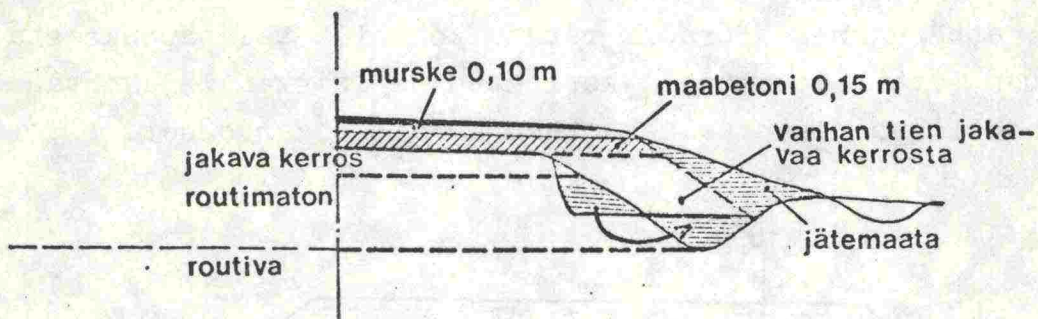
Ongelman muodostavat lähinnä reunakohtien kantavuus. Levennys voidaan tehdä 2-puolisesti seuraavilla tavoilla:

a) Sitomaton rakenneratkaisu



Levennystavan mahdollinen heikkous on, että pohjaolosuhteet saattavat muuttua ratkaisevasti ja koko systeemi voi alkaa painua sekä routiminen voi tulla epätasaiseksi. Suurehko massanvaihto on tehtävä painumien estämiseksi.

b) Stabilointiratkaisu



Levennystavan etuina ovat mm., että rakenne on kevyt pohjaolosuhteet eivät muutu ja massojen käsittely on vähäistä.

2. Pohjamaa ja tienrunko routivia (kantavuus riittävä)

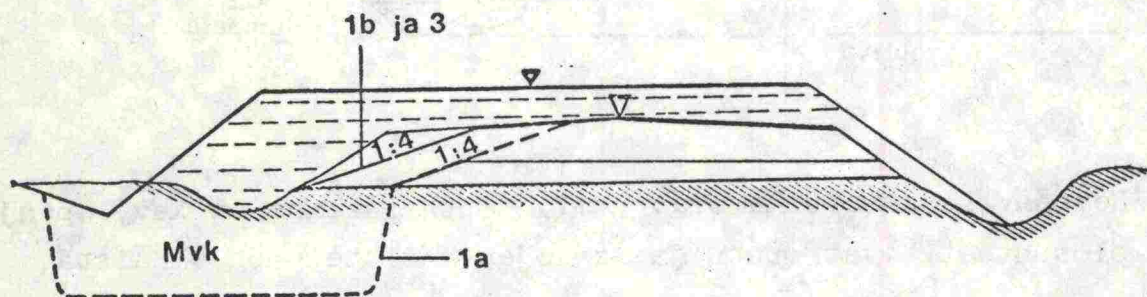
Ratkaisut ovat edellä esitettyjen kaltaiset, mutta rakennekerrosten tasoon asti täyttömateriaalin tulee olla tienrunkoa vastaavaa materiaalia. Täyttömaata on saatavissa mm. parannettavan tien pystygeometrian korjausten yhteydessä leikkauskohdista. Tien rungon homogeenisuus on tasaisten routanousujen ehto tällaisessa tapauksessa. Reunaosien laajahko täyttö sitomattomassa rakenteessa johtuu kantavuussyistä.

3. Pohjamaa routimaton

Jos pohjamaa ei ole routivaa, yksinkertaistuu levennystyö edellisiin verrattuna (voidaan pitää selviönä, että tienrunko on routimaton). Tällöin poistetaan humusmaa pientareelta ja luiskasta ja täytetään jakavan kerroksen soralla tai muulla tienrunkoa vastaavalla materiaalilla. Erityistä huomiota on kiinnitettävä materiaalin tiivistykseen.

4. Toispuolinen levitys

Tien vaakageometriaa parannettaessa joudutaan levitys usein viemään pelkästään toiselle puolen tietä. Tällöin menetellään pohjamaan suhteen samalla tavalla kuin kohdissa 1 - 3. Siirtymän tasaamiseksi viistetään vanha tie kaltevuuteen 1:4 - 1:5 siten, että vanhan ajoradan reunan kohdalla tai tapauksesta riippuen (vrt. tapausta 3) kerrosten ja luiskan rajakohtaan on mahdollista rakentaa rakenteen mukaiset kerrokset.



Koska tien leventäminen maarakenteiden osalta suoritetaan usein talvella, on työn suorituksessa otettava huomioon seuraavaa:

- täytettävää reunustaa puhdistetaan lumesta noin 30 - 40 metrin osissa
- täyttötyö etenee samalla vauhdilla 80...120 m³/td/h
- tiivistystyön tulee tapahtua välittömästi levitystyön perässä itsekulkevalla jyrällä (JK20, JMT09, JTM09K), maksimijyräysmäärä 12...16 kertaa, kerrokset tulee jälkitiivistää vielä sulamaan aikaan 4...8 kertaa täryjyrällä.

3. RAKENTEEN LAADUN PARANTAMINEN

3.1 KANTAVUUDEN PARANTAMINEN

3.11 Maapohjan vahvistustustyöt

Rakenteen parantaminen on usein perusluonteeltaan vanhan tien kantavuuden kohottamista. Tällöin tarkoituksenmukaisen rakenneratkaisun löytäminen edellyttää suorittajalta ja rakentajalta kykyä suorittaa vertailuja eri vaihtoehtojen välillä. Kokonaisuus huomioonottaen rakenneratkaisuun ja työtapaan vaikuttavat mm. saatavilla oleva materiaali kuljetusäisyyksineen, kalusto sekä kohteen laajuus. Parantamistöiden ajoittuessa talvikauteen on usein mahdollista käyttää vain sitomattomia rakenneratkaisuja. Tällöin rakentaminen ei ole mahdollisimman taloudellista ja lisäksi numeeristen laatuvaatimusten sijasta on kiinnitettävä usein erityistä huomiota työssä suoritukseen ja materiaaliin.

Maarakenteen vahvistamistarve johtuu yleensä heikosta kantavuudesta, routimis- tai eroosioilmiöistä. Tällöin em. ilmiöiden syntyyn ovat osaltaan olleet vaikuttamassa eloperäiset, siltti- tai kohessiiviset maalajit. Niiden "vaarattomaksi" tekeminen on tunnetusti vaikeaa. Maapohjan vahvistamista käsitellään tässä kolmena osana riippuen siitä 1) käytetäänkö pehmeää maapohjaa sellaisenaan hyväksi vai 2) muutetaanko pehmeän maapohjan ominaisuuksia keinotekoisesti vai 3) korvataanko pehmeä pohjamaa kantavalla rakennesysteemillä.

3.111 Perustaminen pehmeälle maapohjalle

Perustaminen ilman erikoistoimenpiteitä

Pehmeää pohjamaata voidaan käyttää rakenteiden perustana, jos maaperän kantavuus on todettu riittäväksi kyseiseen tarkoitukseen ja mahdollisesti tulevat painumat ovat tasaisia (eivät haitallisia).

Tällaisissa tapauksissa tarvitaan usein laskelmia painumien arvioimiseksi. Painumat ovat yleensä seurausta hienorakeisen maan kuivumisesta. Nopeiden painumien aikaansaamiseksi on veden poispääsyyn kiinnitettävä huomiota (primääripainuma tapahtuu jo ensimmäisen vuoden aikana). Mikäli pengertä korotetaan liian nopeasti saattaa maapohjassa tapahtua murtumisia.

Jos vanhan rakenteen kokonaiskantavuus on riittävä, mutta pintaosan stabilisuus on heikko, ei ole syytä ryhtyä muuttamaan maapohjan vesiolosuhteita ratkaisevasti, koska tällöin koko systeemin luonnontasapaino kärsii ja vanhan rakenteen peruskantavuutta ei näin enää voida käyttää hyväksi. Tällaisissa tapauksissa tulevat kysymykseen esimerkiksi erilaiset stabiloinnit.

Rakennesysteemin maapohjan vakavuutta voidaan parantaa konventionaalisesti esimerkiksi seuraavilla toimenpiteillä:

- rakenteet tehdään vaiheittain (kerroksittain) suunniteltuun korkeustasoon (välttyään murtumisilta)
- penkereen ja muiden rakenteiden luiskat tehdään loiviksi (vähintään 1:4)
- pyritään säilyttämään luonnollinen olotila maapohjassa (esimerkiksi maapohjan kuivakuorikerros tulee säilyttää, jos sellainen on)
- sivuoja ei käytetä perusteettomasti; turhat sivuojat tekevät rakenteen vain epästabiiliksi

Perustaminen erikoistoimenpiteitä käyttäen

Pehmeän pohjamaan päälle tulevan rakenteen painosta ja paksuudesta riippuu, millä tavalla heikon pohjan negatiivisia vaikutuksia ryhdytään lieventämään. Kyseeseen tulevia menetelmiä ovat mm.:

- 1) Vastapenkereet
- 2) Ylipenkereen käyttö
- 3) Suodatinkangas
- 4) Telat
- 5) Pintastabilointi

1. Vastapenkereet

Vastapenkereitten käyttö tulee kysymykseen silloin, kun vanhan rakenteen massaa lisätään niin, että koko systeemin vakavuus tulee kyseenalaiseksi. Tämä ilmenee mm. rakenteen painumisena ja ulkopuolisten alueiden ylösnousemisina. Rakenteen sivulle rakennettavien vastapenkereiden tehtävänä on säilyttää rakennekokonaisuuden vakavuus. Lisätoimenpiteiden takia rakenne painuu jonkin verran syvillä pehmeiköillä.

Jos vanhan rakenteen kantavuus on riittävä ko. tarkoitukseen, tulee harkita, onko syytä enää lisätä pohjavahvistusta vai käyttää kevyitä rakenneratkaisuja ja sijoittaa tasausviiva mahdollisuuksien mukaan sopivaan tasoon. Vaihtoehtoisia ratkaisuja ovat mm. kevytpenger, stabiloinnit ja syväasfaltti. Jos vanhan rakenteen kantavuus on heikko, voidaan valmiiseen rakenteeseen kohdistuvilla painumilta välttyä kiihdyttämällä rakennusaikaisia painumia ylipenkeen avulla.

2. Ylipenger

Ylipenkereen avulla voidaan saada siis varmuutta alusrakenteen painumisominaisuuksista samalla kun saatetaan alusrakenne muutamassa kuukaudessa muuten muutamia vuosia kestävänsä painumatilaan. Näin on mahdollista löytää rakenteen heikkousvyöhykkeet ja käyttää paikallisesti erikoistoimenpiteitä niiden lujittamiseksi.

Ylipenger tulee rakentaa vähintään 1,5 - 2,0 m korkeaksi. Vaikutusajan tulee olla yli 2 kk sulassa tilassa, mieluummin koko vuosi. Painumia seurataan määrävälein, jotta nähdään painumien suuruus sekä missä vaiheessa painuminen hidastuu oleellisesti.

3. Suodatinkangas

Suodatinkankaan ei yleensä katsota sellaisenaan lisäävän rakenteen kantavuutta, mutta välillisesti sillä on vaikutusta myös kantavuuteen, koska suodatinkangas estää pehmeän pohjamaan sekoittumasta sen päällä oleviin kitkamaakerroksiin ja lisäksi edistää rakenteen kuivatusta.

Suodatinkankaalla säästetään kitkamaalajeja (suodatinkerros), ja tällöin rakenteen kokonaismassa pienenee. Suodatinkankasta käytettäessä on alusta tasoitettava niin, ettei suodatinkangas re-
peydy terävien särmien johdosta. Suositeltavaa on käyttää vapaa-
ta kitkalimitystä saumakohtissa (0,5 m leveä).

4. Telat

Telarakenteita on käytetty alempiluokkaisten teiden perustamismen-
netelminä erityisesti ohutturpeisilla suoalueilla. Telan päätehtävänä on jakaa pengerkuormitus maapohjalle mahdollisimman tasaisesti.

Tavallisesti telarakenteen koko on noin 200 m x 11 m. Telapuut (esim. 4 m pitkiä ja \varnothing 100 mm läpimittaisia) ladotaan ristikkäin (väli 0,7 m) ja rakennelma peitetään suodatinkerroksella (0,30 m) ja jakavalla kerroksella (0,40 m).

Telarakenne maksaa noin 430 mk/tie-m (58 mk/m²) ilman kantavaa kerrosta ja päällystettä. Tästä on itse telan osuus noin 50 %, mikäli telapuut saadaan työkohteesta. Jos telapuut joudutaan hankkimaan muualta muodostuu yksikköhinta merkittävästikin suuremmaksi.

5. Pintastabilointi

Pehmeää pohjamaata, jossa ei ole eloperäistä ainesta, mutta jossa on vähintään 20 - 30 % savimineraaleja, voidaan lujittaa pinnallisesti kalkilla. Sammuttamattomalla kalkilla kyetään alentamaan pohjamaan vesipitoisuutta jopa 5 - 10 % yksikköä samalla kun pohjamaan leikkauslujuus moninkertaistuu. Kalkin avulla lujitettu pintakerros levittää yläpuolista painetta laajemmalle alueelle kuin ilman stabilointia olevassa rakenteessa tapahtuu. Stabilointia on käsitelty tämän tilaisuuden muussa yhteydessä.

3.112 Pehmeän pohjamaan lujittaminen

Pehmeän pohjamaan lujittamisessa on käytetty sekä mekaanisia että kemiallisia systeemejä, joista tässä tarkastellaan

- paalutusta
- syvästabilointia

1. Paalutus

Paalutusta käytetään toisinaan tien perustamistapana silloin, kun penkereen vakavuus on riittämätön tai maapohjan kokoonpuristuminen muodostuu haitallisen suureksi eivätkä muut pohjanvahvistusmenetelmät kustannussyistä, työn mahdollisen epäonnistumisen takia tai ympäristöolosuhteista johtuen tule kysymykseen.

Paalutettavan kohteen laajuus on yleensä noin 200 m x 7...8 m. Paalujen pituus on noin 10 m ja läpimitta \varnothing 75...175 mm. Paaluhatut ovat yleensä betonielementtejä. Paalujen väli on usein 1,50 m. Lisäksi paalut peitetään suodatinhiekalla sekä muilla rakennekerroksilla.

Varsinainen paalutustyö suoritetaan tavallisesti paalutuslaitteella varustetulla kaivinkoneella (KK22 PL), jonka kapasiteetti (K3) paalujen maahanlyönnissä noin 9 kpl/h eli noin 90 j-m/h.

Paalutusmenetelmässä on paalujen hinnalla suuri merkitys koko rakenteen rakennuskustannuksiin (raaka-aineen hinnasta riippuen (38...72 %)). Toinen suuri menoerä muodostuu paaluhatuista. Näiden yhteisosuus koko menetelmän kustannuksista on noin 85...93 %.

Keskikokoisissa paalutuskohteissa (paaluja noin 800 kpl) ovat kustannukset olleet 215000...465000 mk (150...330 mk/m²). Paalutusmenetelmää on pidettävä varsin kalliina erikoisratkaisuna.

2. Syvästabilointi

Syvästabiloinnilla kohotetaan maan leikkauslujuutta. Stabilointia suoritetaan yleensä kahdella tavalla: reikästabilointina ja kalkkipilaristabilointina. Tien perusparannustöissä reikästabilointi on ollut yleisempi ja sen käyttöä puoltaa mm.

- vanhaa rakennetta ei sellaisenaan tarvitse rikkoa
- liikenteelle ei aiheuteta mainittavaa haittaa työaikana.

Reikästabiloinnin perusedellytyksenä on, että

- pohjamaassa on savilajitetta vähintään 20 %
- pH-luku on yli 8,5
- kalkki on ns. sammuttamatonta hienokalkkia (ei murumaista).

Reiät (\varnothing 100 mm) porataan (tai painetaan) 1,2...1,8 m syvyyteen ja 0,8...1,0 m keskinäiselle etäisyydelle.

Reiän teko kestää noin 2 min/kpl. Reiän täytön ja koneen siirtojen takia työsaavutukset ovat olleet noin 5,00 min/m² (K3-kapasiteetti) ja kustannukseksi on muodostunut noin 22,00 mk/m².

3.113 Pehmeän pohjamaan korvaaminen

Pehmeän heikosti kantavan ja routivan pohjamaan poistaminen ja sen korvaaminen perngermateriaalilla tulee harkinnan arvoiseksi silloin, kun kovapohja on kohtuullisen lähellä maanpintaa ja täytemaa on edullisesti saatavissa. Pohjamaan täyttö suoritetaan yleensä joko pengerryksen avulla tai kaivamalla pehmeä maa pois. Routavaurioiden korjauksissa tyydytään usein osittaiseen massanvaihtoon.

Rakenteen parantamistöissä massanvaihto suoritetaan kaivamalla, koska: kohteet ovat suhteellisen lyhyitä, rakennusaika on lyhyt ja maarakennustyöt on pääosiltaan suoritettava talvisaikaan.

Maaperän routimisen lieventämiseksi massanvaihtokaivanto tehdään noin 1,2...1,4 m syväksi, mikäli kaivanto on tasaisen märkä, ja noin 1,4...1,6 m syväksi, jos kaivanto on joko kuiva tai epätasaisen märkä. Jos kaivantoon tulee runsaasti vettä, on veden poisjoh- tamiseksi järjestettävä ojitus.

Kaivannon täyttömateriaalina käytetään suodatinhiekkää. Jos poh- javesi uhkaa sekoittaa suodatinhiekkää päällä olevan jakavan ker- roksen kiviainekseen on tarpeellista käyttää suodatinkangasta ker- rosten välillä.

Massanvaihtokaivannon kaivu- ja kuormaustyössä on käytetty perin- teellisesti yleensä hydraulista kuokkakaivinkonetta (3-16 t). Jos käytetään vastaavassa työssä koneyhdistelmää telapuskutraktori (PT 25) ja pyöräkuormaja (KUP 11) saadaan työn yksikkökustannukset pienenemään noin 1,50 mk/m³itd.

Massanvaihto kaivamalla (ns. maalaatikkorakenne), maksaa 10 km kuljetusmatkoilla noin 460 mk/tie-m (51 mk/m²) ilman kantavaa ker- rosta ja päällystettä. Koska menetelmän suurin menoera koostuu kaivu- ja täyttötyöstä, tulee aina harkita joko osittaista massan- vaihtoa tai muita ratkaisuja.

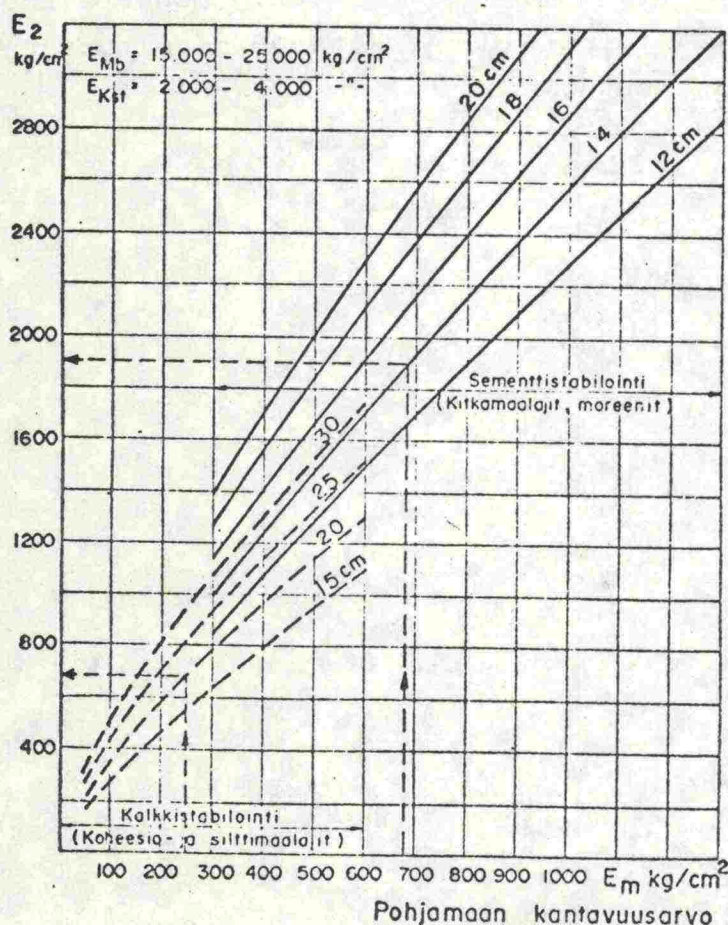
3.12 Päällysrakenteiden vahvistustyöt

Vanhan rakenteen vahvistaminen voidaan suorittaa toisinaan myös siten, että rakennetaan vahvat päällysrakennekerrokset. Tällaisia tapauksia ovat jakavan kerroksen lujittaminen, kantavan kerroksen lujittaminen tai näitä korvaavien rakenteiden käyttö.

3.121 Jakavan kerroksen lujittaminen

Jakavan kerroksen stabiloiminen saattaa tulla kysymykseen, jos kohteen kantavuus pitää saada nousemaan ohuella kerroksella (korotus- ja/tai levitysmahdollisuudet riittämättömät), kerrosmateriaalin ajomatka tai hinta muuten keskimääräistä suurempi tai jakavan kerroksen materiaalia on jalostettava. Yleensä jakavan kerroksen stabiloiminen on varsin taloudellinen ja tehokas tien vahvistustoimenpide lähtökantavuusalueella $E_2 = 20 - 80 \text{ MN/m}^2$ ja soran kuljetus etäisyyden ollessa yli 10 km.

Stabiloitavan kerroksen paksuus saadaan kuvasta 3

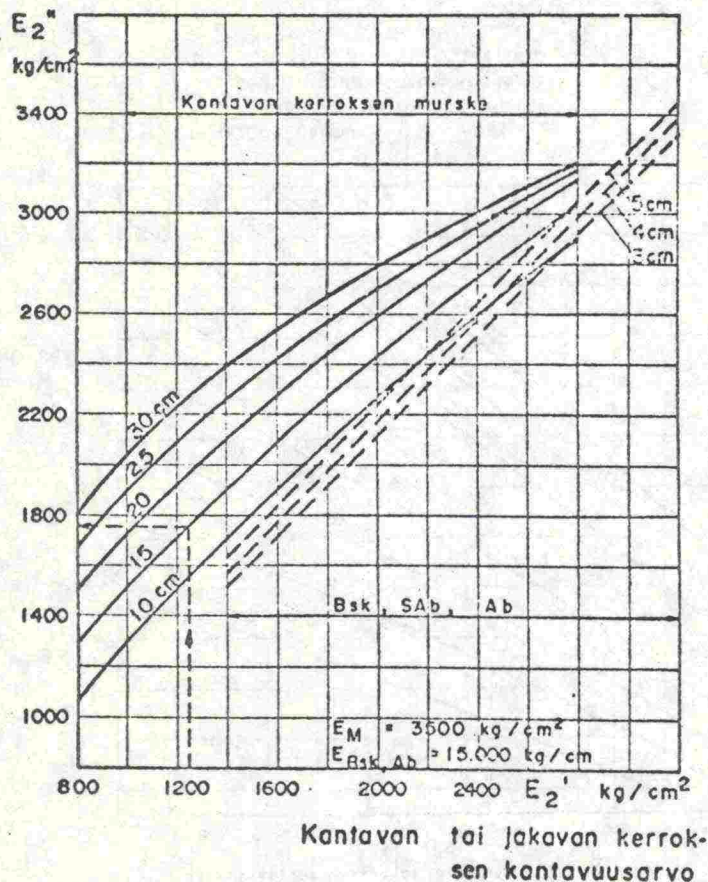


Kuva 3. Maabetonikerroksen mitoitus [1].

Rakentamismenetelmä riippuu siitä, miten suuressa määrin vanhan tien lujitettavaa rakenneosaa voidaan käyttää hyväksi. Jos vanhaa runkorakennetta voidaan käyttää lähes kokonaan hyväksi, on suositeltavaa sekoittaa eri aineosat lujitettavasta kohteesta. Jos taas kiviainesta joudutaan tuomaan lisää huomattavasti, lienee aineosien sekoittaminen asemalla edullisempaa. Käytettävään menetelmään vaikuttaa lisäksi kohteen laajuus ja tärkeys, käytettävissä oleva kalusto sekä rakenteelliset seikat. Paikallasekoitettuna stabiloinnin yksikköhinta on noin 12-14 mk/m² ja asemasekoitteisena noin 16-18 mk/m².

3.122 Kantavan kerroksen käyttö

Kantavan kerroksen tehtävänä on lisätä tien kantokykyä sekä muodostaa päällysteelle tuleva ja muotonsa säilyttävä alusta. Sitomattoman kantavan kerroksen paksuus on tavallisesti 0,10 - 0,25 m kantavuuden kohottamistarpeesta ja materiaalista riippuen (kuva 4)



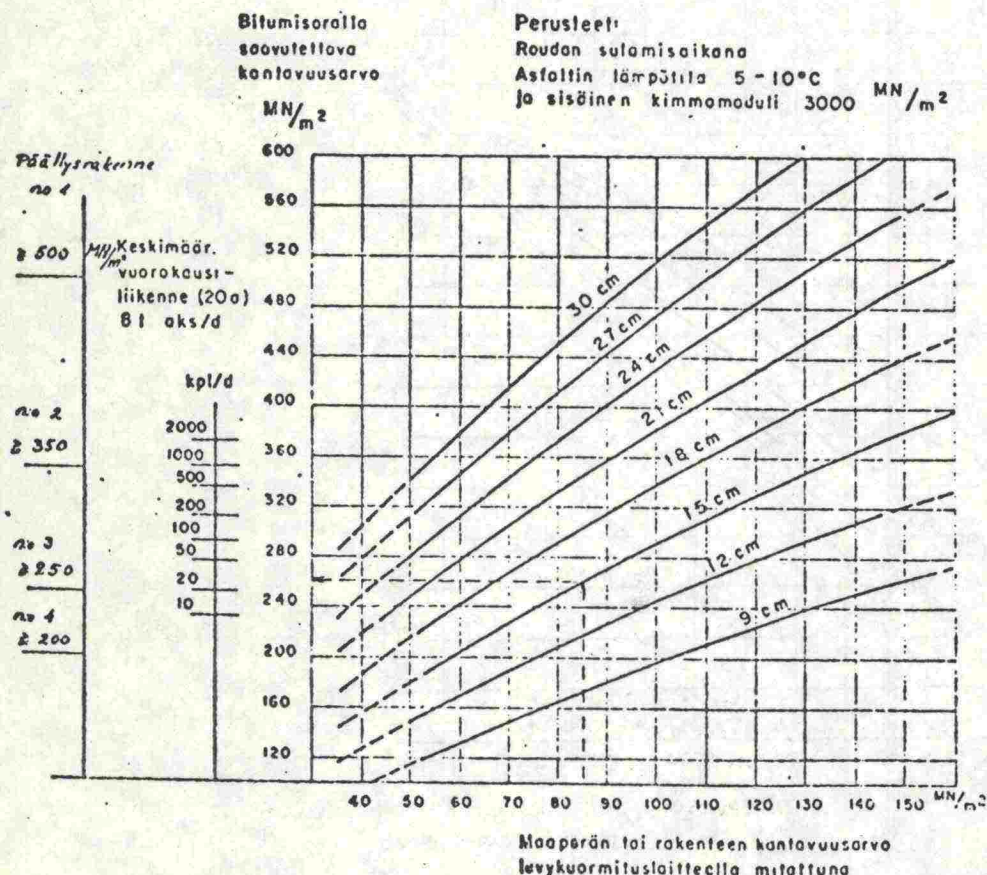
Kuva 4. Kantavan kerroksen mitoitus [1].

Kantava kerros voidaan rakentaa myös syväasfaltista, maabetonista tai se voidaan vahvistaa stabiloimalla kiviaines sementillä. Sitomattomana ja murskatusta kiviaineksesta tehtynä kantava kerros maksaa noin 28,00 mk/m³tr.

3.123 Syväasfalttirakenne

Syväasfalttirakennetta voidaan harkita käytettäväksi silloin, kun tien levantämis- (korottamis-) mahdollisuudet ovat niin rajoitetut, ettei muunlaisia ratkaisuja ole mahdollista käyttää. Rakenteen kalleudesta huolimatta sitä voidaan harkita käytettäväksi myös, jos liikenteelle ei voida aiheuttaa pitkäaikaista haittaa tai jos esimerkiksi pohjamaan takia tarvitaan kevyttä rakenneratkaisua.

Rakenteen parantamisen yhteydessä syväasfaltin käyttö tarkoittaa tien päällysrakenteen vahvistamista siten, että vanhan tien päälle rakennetaan pelkästään bitumilla sidottuja rakennekerroksia. Syväasfalttikerroksen paksuus voidaan määrittää kuvasta 5 vanhan tien kantavuuden mukaan.



Kuva 5. Syväasfalttikerroksen mitoitus (Turunen).

Ennen asfalttimassan levittämistä vanhan tien pinta tasataan ja muotoillaan tarpeen mukaan. Massan levitys tapahtuu puolitietä kerrallaan yleisen liikenteen kulkiessa toista tien puolta pitkin. Massa levitetään kahtena tai useampana kerroksena. Alin kerros voidaan levittää tiehöylällä, telapuskutraktorilla tai asfaltinlevittimellä, yläpuoliset kerrokset levitetään asfaltinlevittimellä.

Syväasfaltin hinta on noin 15 - 60 mk/m² kerrospaksuudesta 0,10 - 0,40 m riippuen.

3.2 ROUTAVALIOIDEN KORJAAMINEN

Roudan aiheuttamat haitat ilmenevät yleensä joko pintakelirikona tai pinnan epätasaisuuksina. Tien pinnan pehmeneminen johtuu kohessiivisten maiden lujuuden huomattavasta heikkenemisestä roudan sulamisvaiheessa. Tien pinnan epätasaisuudet taas johtuvat tien pohjan (tai joskus tien rungon) epätasaisesta routimisesta. Jälkimmäinen tapaus ei välttämättä ole kantavuusongelma. Tien pohjamaa vain on liian epähomogeenista ja altis routimiselle.

3.21 Pintakelirikon ehkäisy

Pintakelirikon torjunnassa on syytä käyttää omalla tavallaan erikoisratkaisuja. Pelkkä tien korottaminen kantavilla kerrosaineiksilla ei yleensä poista koko routimis- ja kantavuusongelmaa. - Tässä esitellään kolmea käyttökelpoista menetelmää: suodatinkangas-, pintastabilointi- ja reikästabilointimenetelmä.

Jos kelirikotiellä ei esiinny routakyhmyjä, voidaan tien pinnan stabiliteettia parantaa pelkästään tien kantavuusarvoon nojautuen. Sen mukaan mitoitetaan tarvittava kantava kerros (MSr, Sr tai M). Kantavan kerroksen paksuus voi vaihdella E2-luvusta ja kiviaineksesta riippuen 0,15 ... 0,30 m. Pehmeän vanhan tien pumppuamisen estämiseksi asennetaan vanhan tien päälle ensin suodatinkangas. Viime mainittu menetelmä on tehokas, yksinkertainen ja suhteellisen halpa (suodatinkangas maksaa noin 1,60 mk/m²)

Edellistä "jalostetumpi" menetelmä on stabiloida pumppuava ja pehmennyt tien pintaosa kalkilla (CaO). Kalkkistabiloinnin onnistumisen edellytyksenä on riittävä saviaines määrä (vähintään 20 %) ja korkea pH-luku (yli 8,5). Jos karkeaa kiviainesta (esim. hiekkaa) on runsaasti mukana on aiheellista lisätä kalkin sekaan sementtiä. Jo 0,20 m paksu kalkkistabiloitukerros kohottaa kantavuuden kolminkertaiseksi. Kalkkistabiloinnin

hinnaksi muodostuu noin 8 mk/m^2 kohteen suuruudesta ja toimintavälineistä riippuen. Stabiloitu kerros päällystetään joko sora-, murskesora ja murskekerroksella, jonka paksuus määriytyy sille tasolle asetettavan tavoitekantavuuden mukaan.

Kalkkistabilointia kannattaa harkita käytettäväksi hyvin heikosti kantavissa kohdissa (E2 esimerkiksi $10...20 \text{ MN/m}^2$ tai alle). Sen sijaan E2-luvun ollessa esimerkiksi $30...40 \text{ MN/m}^2$ tai yli kannattaa käyttää suodatinkangassysteemiä.

Paikallisten, erittäin hankalien pintapehmenemisten torjunnassa on mahdollista käyttää myös reikästabilointia (ks. kohta 2.22). Näin stabiloidun kohteen päälle rakennetaan jakava/kantava kerros ja päällyste/kulutuserkerros.

3.22 Routanousujen eliminointi

Routanousuihin ovat yleensä olleet syynä

- pintakivet
- jäälinssit
- pohjamaan routivuuden muuttuminen

Roudalla on taipumus siirrellä maapohjassa roudan vaikutuspiirissä olevia kiviä. Pintakivien aiheuttama epätasaisuus on päätehtävissä yleensä kohoaman muodosta ("routapatit"). Pintakivet voidaan joko särkeä tai poistaa sellaisenaan tienrungosta.

Tienrunгон kapillaarisuus ja korkea pohjaveden pinta sekä pohjavesivirtaukset yhdessä pakkasen kanssa saavat aikaan jäälinssijä. Jäälinssit aikaansaavat joskus huomattavan suuriakin kohoumumia ja roudan sulamisvaiheessa merkittävää tienrunгон pehmenemistä.

Ennen kuin jäälinssien muodostumista ryhdytään estämään ja sen aiheuttajaa pohjaveden virtausta ryhdytään muuttamaan, on selvitettävä maaperän kaltevuussuhteet ja kallion pinnan läheisyys.

Normaalit routaheitot johtuvat pohjamaan epähomegeenisuudesta. Routanousut esiintyvät tällöin tavanomaisilla siirty - mäksiilavyöhykkeillä. Teknisen ratkaisun kehittämistä varten on tunnettava kohteen maalajit.

1. Pintakivien poisto

Maakivien poisto ajoradasta tulee suorittaa sellaisena ajan - kohtana, jolloin tienrunko on mahdollisimman kostea (esim. keväällä roudan sulattua tai loppukesällä). Kivet nostetaan yleensä joko kuorma-auton nostolaitteella tai traktori - kaivurilla, joihin on asennettu kivennostokoukku tai muo - tokauha. Edellisessä tapauksessa tarvitaan porauskone rei - kien tekoa varten. Syntyneet kuopat täytetään routivalla maalla (samaa kuin tienrunгон materiaali) esimerkiksi kuorma-auton nosturiin kiinnitettyä kahmarikauhaa käyttä - mällä. "Ylisuuret" maakivet rikotaan ennen poisnostoa (esi - merkiksi räjäyttämällä tai voimavasaralla).

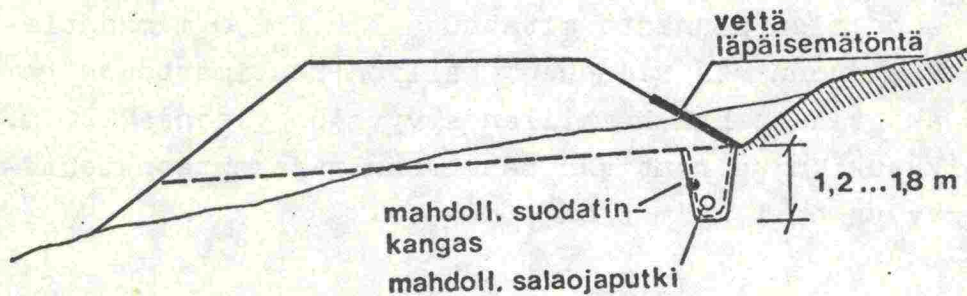
Porausta ja auton nosturia käytettäessä on työvuorokapa - siteetti ollut noin 15 kiveä/h (kivikoko \varnothing 0,3 - 0,8 m) ja työ on tullut maksamaan noin 5,70 mk/kivi. Vastaavat arvot traktorikaivuritapauksessa ovat olleet $K_3 = 16$ kiveä/h ja 6,00 mk/kivi.

2. Jäälinssien muodostumisen torjunta

Koska jäälinssien muodostumisen edellytyksenä on pohja - veden virtaukset, kohdistetaan toimenpiteet pohjaveden

alentamiseen. Alennusoperaatio suoritetaan yleensä salaojalla, joiden tulee ulottua aina roudattomaan syvyyteen asti. Salaoja voi olla yksinkertainen sorasalaoja tai putkisalaoja sen tehokkuusvaatimuksesta riippuen. Jos on pelättävissä täyttösoran ja ympäröivän hienoaineksen sekoittumista käytetään ojakaivannon ympärillä suodatinkangasta. Suodatinkangasta käytetään yleensä myös silloin, jos täyttömateriaali on karkeaa kiviainesta.

Periaatteessa salaojat voivat olla seuraavanlaisia:



Jos salaojiin ei päästetä pintavesiä, tehdään sen yläosaan vettä läpäisemätön suojakerros (esim. savesta).

3. Routimisolosuhteiden tasaaminen

Routanousuja on tasoitettu yleensä tienrungon tai päällysteen rakenteellisilla muutoksilla. Tällaisista keinoista lueteltakoon:

- massanvaihto
- siirtymäkiila
- lämpöeriste
- stabiloinnit
- päällysteen vahvistaminen
- kuivatuksen parantaminen.

Massanvaihto

- ks kohta 3.113

Siirtymäkiila

Siirtymäkiila on konventionaalinen maapohjan routimisominaisuuksien tasoittaja. Vanhaa tietä perusparannettaessa rakennetaan siirtymäkiilarakenteita usein lukuisasti, koska juuri niiden puuttumisesta on aiheutunut epätasaisia routanousuja.

Routivan ja routimattoman rakenteen rajakohtaan tehtävän kiilan syvyys on tien pinnasta mitattuna 1,6 - 2,0 m maantieteellisestä sijainnista riippuen. Kallion routimattoman maaperän rajakohtaan tehtävän kiilan syvyys on yleensä 1,0 m. Routivan leikkauksen ja routivan penkereen rajakohtaan tehtävän kiilan syvyys on 1,25 m tien pinnasta.

Siirtymäkiilan pohjan kaltevuus on tasausviivaan nähden 1:30 - 1:15 kohteen tärkeydestä riippuen. Pohja muotoillaan yleensä samaan sivukaltevuuteen kuin vastaavaan kantavuusluokkaan kuuluva alusrakenne. Mikäli siirtymäkiilan pohjalle on runsas vedentulo, rakennetaan sinne salaoja.

Kallion läheisyys aiheuttaa usein rakentajille ongelmia. Jos kallio on routivassa pohjamaassa siirtymäkiilasyvyyyttä ylempänä on routiva pohjamaa poistettava koko tien leveydeltä siirtymäkiilasyvyYTEEN. Mikäli kallio osoittautuu pieneksi, se on syytä poistaa siirtymäkiilasyvyYTEEN asti ja kuoppa voidaan täyttää ympäröivällä maalla (tapauksesta riippuen).

Siirtymäkiilakaivanto täytetään yleensä sitomattomalla, suodatinkerrosmateriaalilla. Siirtymäkiilalta vaaditaan samat laatuominaisuudet kuin maapenkereen yläosaltakin. Talviraikentamisessa tulee pyrkiä rakentamaan kiila ja jakava kerros samanaikaisesti materiaalin jäätymisen ja jäätyneiden sauma-kohtien estämiseksi.

Siirtymäkiilla voidaan rakentaa myös kevytsorasta. Tällöin vältetään syvän kaivannon teolta, koska kevytsorakiilla voidaan asettaa suodatinkerrostasolle. Kevytsorakiilla on yleensä paksuimmasta kohdasta 0,20 ...0,40 m ja kiilan kärjestä 0,05 m sekä normaalin siirtymäkiilan pituinen. Jos on pelättävissä pohjamaan ja kevytsoran sekoittuminen, asennetaan kevytsoraukukalon pohjalle ja reunoille suodatinkangas. Kevytsorakiilan päälle levitetään jakavan kerroksen kiviainesta 0,3 m, jonka jälkeen rakenne tiivistetään staattisesti. Tämän päälle rakennetaan puuttuvat rakenneosat.

Kevytsora voidaan sitoa sementillä, jolloin sen kantokyky vastaa lähinnä kantavaa kerrosta. Stabilointi kevytsorakerros peitetään murskeella tms. ja päällysteellä. Tätä systeemiä pidetään kuitenkin liikenneturvallisuuden kannalta arveluttavana nykyisen mahdollisen ennenaikaisen liukkauden takia.

Siirtymäkiilla voidaan rakentaa myös solumuovilevyistä, joista tarkemmin seuraavassa.

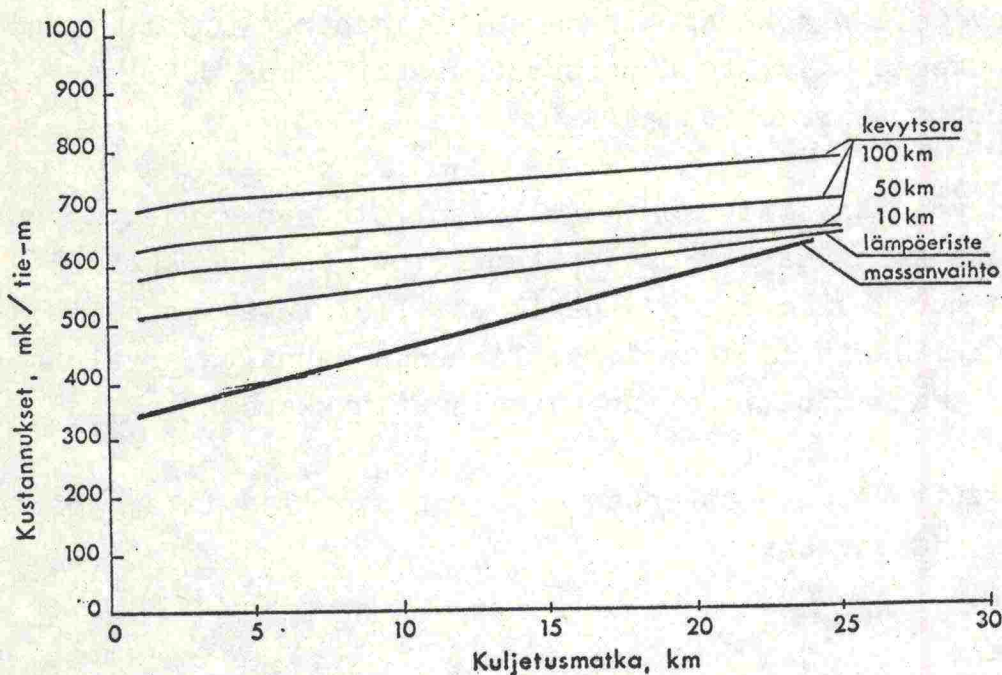
Lämpöeriste

Lämpöeristeellä voidaan muuttaa perusmaan routimisoiminaisuuksia estämällä tai lieventämällä pohjamaan jäätymistä.

Lämpöeristeitä on monenlaisia. Yleisimmin käytettyjä ovat ns. solumuovilevyt. Kevytsoraa voidaan käyttää eristeen tavoin joko irtonaisena tai stabiloituna. Myöskään masuunikuonaa eri muodossa ei sovi unohtaa, vaikkakaan sen käytöstä ei vielä ole saatavissa luetettavaa kokemuseräistä tietoutta.

Lämpöeristeitä käytetään routanousujen tasaajana konventionaalisten ratkaisujen sijasta, jos routivalla kohdalla tarvitaan kevyttä rakennetta tai jos muita eristäviä materiaaleja käytettäessä ratkaisu tulee kalliiksi.

Lämpöeristeratkaisun ja esimerkiksi maalaatikkorakenteen keskinäinen taloudellinen edullisuus riippuu ensisijassa täyttömateriaalin saannista ja sen hinnasta ja paikalletuotuna (kuva 6).



Kuva 6. Lämpöeriste- ja maalaatikkomenetelmän vertailu kiviaineksen kuljetusmatkan mukaan.

Huomattakoon, että lämpöeristeiden solumuovilevy/kevytsora keskinäiset paksuudet suhtautuvat kuten 1:6. Käytettäessä mitä lämpöeristettä hyvänsä, ei pidä unohtaa pääosien kiilausta (vrt. siirtymäkiillat).

Solumuovilevyjen asennustyö aloitetaan poistamalla tien vanhat rakennekerrokset yleensä 0,8 - 1,0 m syvyydeltä. Eristyslevyt suojataan molemmin puolin suodatinhiekkalla. Levyjen alle levitetään suodatinhiekkaa vähintään 0,10 m, joka tasoitetaan ja tiivistetään kumipyörällä ja muulla soveltuvalla jyrällä 4 ker-

taa. Tämän jälkeen hiekkakerros tasataan kolilla tms. Sitten asennetaan ja tuetaan levyt paikoilleen. Puolitietä kerrallaan rakennettaessa suojataan keskisaumakohta muovikelmulla toisen tienpuolen levyjen asentamisen helpottamiseksi. Levyjen päälle levitetään vähintään 0,10 m suodatinhiekkaa ja 0,20 m jakavan kerroksen kiviainesta, jotta koneet voivat liikkua rakenteen päällä.

Lämpöeristeratkaisu (ilman kantavaa kerrosta ja päällystettä) maksaa noin 560 mk/tie-m (70 mk/m^2) kiviainesten kuljetusmatkan ollessa 10 km.

Kevytsoran käyttö perustuu sen pieneen irtotiheyteen ja täten hyvään lämmöneristyskykyyn. Kevytsora painaa vain neljänneksen tavanomaisen kiviaineksen vastaavan kokoisesta massasta. Näin ollen normaalissa massanvaihdossa maan massa on yli 10-kertainen kevytsoraan verrattuna. Kevytsora ei saa sisältää yli 32 mm rakeita enempää 5 %. Maksimiraekoko saa olla korkeintaan 64 mm. Kuivairtotiheys ei saa ylittää $0,42 \text{ t/m}^3$ eikä vesipitoisuus saa olla 35 % suurempi.

Kevytsorakerros (minimipaksuus 0,40) levitetään sitä varten rakennettuun kaukaloon. Jos vanhaan rakenteeseen suodatinkerroksen tasoon rakennetun kaukalon pohjamateriaali on kohessiivista, verhotaan kaukalo ensin suodatinkankaalla. Vanhan tien kaivu tulisi, mikäli mahdollista, suorittaa kerralla koko tien leveydeltä, koska saumaus voi osoittautua perin hankalaksi. Kevytsoran levitys tehdään normaalilla telapuskutraktorilla (esim. PT00, PT05) päätypengerrystyyllillä tai kasoista levittämällä.

Tasoitetun kevytsorakerroksen päälle levitetään päältäpengerrysmenetelmällä jakavan kerroksen kiviainesta 0,30 m, jonka jälkeen rakenteet tiivistetään staattisesti. Tämän jälkeen lisätään puuttuvat kerrokset.

Kevytsorarakenteen hinnaksi muodostuu noin 662 mk/tie-m ($82,50 \text{ mk/m}^2$) kiviaineksen 10 km ja kevytsoran 50 km kuljetusmatkoilla (ei sisällä kantavaa kerrosta eikä päällystettä)

Stabiloinnit

Stabiloiturakenne voi tässä yhteydessä sisältää seuraavia ratkaisuja:

- syvästabilointi- jakava/kantava kerros + kulutuskerros
- kevytsorabetoni (0,20 m) + murskerros (0,10 m) + päällyste
- maabetoni (0,20 m) + betonipäällyste (0,08 m)

Stabilointitekniikkoja on käsitelty aiemmin tässä esityksessä. Maabetonin ja betonipäällysteen toimivuus perustuu niiden jäykkään rakenteeseen ja laattavaikutukseen, mikä oleellisesti tasaa roudan epätasaisia nousuja. Maabetonin tulee olla melko vahvaa (K70). Betonipäällyste valmistetaan suunnittelulujuuteen K400.

Maabetonin sijasta voidaan käyttää vastaavan paksuista kevytsorabetonia. Tällöin on 0,10 m paksun laakerikerroksen käyttö tarpeellista ennen bitumipäällystettä. Kuitenkin näin korkealle asetettuja lämpöeristeitä pidetään liikenneturvallisuuden kannalta arveluttavana (pintajäätyminen). Kevytbetoni valmistetaan asemasekoitteisesti ja sementtiä lisätään kevytsoraan yleensä noin 180 kg/m³.

Päällysteen vahvistaminen

Päällysteen vahvistaminen tarkoittaa tässä yhteydessä sen vetolujuuden parantamista. Tällöin estetään routanousun rikkomasta päällystettä "voimakeinoin".

Asfalttipäällysteiden lujitus tapahtuu teräsverkolla (ϕ 3...6 mm). Teräsverkko naulataan päällysteen päälle ennen uuden päällysteen takoa. Verkon tulee ulottua koko päällysteen leveydelle, jottei reunaosiinkaan tulisi myöhemmin repeämiä. Huomaa, että päällysteen halkeamista voidaan myös estää tai lieventää siirtämällä lumivallit tienreunoilta pois, jolloin routa kohottaa maata tasaisesti koko tien leveydeltä eikä vain keskeltä.

Betonipäällystettä voidaan lujittaa kutistumissaumakohdista vetoteräksillä ϕ 18, k/k 400, L500.

Kuivatuksen parantaminen

Kuivatuksen parantamiseen tulee kiinnittää huomiota erityisesti silloin, kun pohjaveden virtaus on ollut syypää roudanousuihin. Tällöin kysymys on usein sivukaltevassa maastossa olevasta tiestä. Ongelman ratkaisuksi voidaan esittää yläpuolisen luiskan salaojittamista aina roudattomaan syvyyteen asti kuten edellä on jo esitetty.

LÄHDEKIRJALLISUUTTA:

1. Stabiloitiohjeet, TVH 2.614. Hki 1972
2. Rakenteen parantamistöiden työselitys (ehdotus)
TVH. Hki 1977
3. Nevala, E.; Tienrakenteen parantaminen. TVL Uuden-
maan piiri (julkaisematon)
4. Sementti- ja kalkkistabilointisuunnittelukurssi.
Luentomoniste TVH & Sementtiyhdistys ry. Espoo 1975
5. Turunen, P.; Roudasta, tien routavaurioista ja niiden
ennalta ehkäisystä. Maarakennus ja kuljetus 3 1976.

Rak.mest. Tapio Raukola

TIIVISTÄMISMENETELMÄT JA -TYÖT

1. YLEISTÄ

Vuosisadan alussa tehtiin hyvä keksintö: staattinen valssijyrä. Se oli silloin ainoa käytettävissä oleva jyrätyyppi, minkä vuoksi sitä käytettiin kaikenlaisessa tiivistämisessä. Tiivistuskoneen valinta ei ollut silloin ongelma. Silloisen keksinnön tekee erityisen hyväksi se, että jyrätyyppi on varsin yleinen vielä meidänkin päivinä. Staattisia valssijyriä käytetään kuitenkin nykyisin lähes yksinomaan vain asvalttitöissä. Staattisten valssijyrien rinnalle on kehitetty aikojen saatossa myös muunlaisia staattisia tiivistysmenetelmiä. Niistä mainittakoon erityisesti kumipyöräjyrät, joista kevyitä on käytetty asvaltin tiivistyksessä ja raskaita maarakennustöissä. Nykyisin kumipyöräjyrillä on merkittävä sija mm. rakenteiden talvitiivistämisessä. Erilaiset sorkkajyrät ovat Keski-Euroopassa hyvin yleisiä. Sorkkajyrien käyttö Suomessa on varsin vähäistä, koska hienojakoisten maalajien käyttö penkereissä on yleensä kiellettyä.

Saksalaisten tietojen mukaan ensimmäinen täryjyrä kehitettiin vasta vuonna 1945. Täryjyrästä ehdottomasti suosituimmiksi ovat kehittyneet eri kokoiset hinattavat täryjyrät. Varsinkin 1950-luvun loppupuolelta lähtien on kehitetty voimakkaasti myös itsekulkevia täryjyrätyyppejä. Niistä etenkin pienet jyrät ovat lyöneet itsensä nopeasti läpi. Kun jokin työtapaa saa kovin kauan vaikuttaa markkinoilla, sillä on taipumus muokata asenteita sellaiseksi, että uusien menetelmien käyttöönottoa jopa saatetaan vastustaa voimakkaasti. Kehitystä ei tällä tavalla kuitenkaan onneksi voida pysäyttää, korkeintaan jarruttaa jonkin verran. Tämä on ollut ja on tilanne myös tiivistyskaluston kohdalla.

Aikaisemmin tarvittiin tietyn tyyppinen jyrä tietyn tyyppiinseen työhön. Viimeaikainen kehitys on johtanut kuitenkin siihen, että yhdellä jyrällä tullaan toimeen varsin erilaisissa olosuhteissa. Seuraavassa on tarkoitus keskittyä uudentyyppisiin monikäyttöjyriin. Asian ymmärtämiseksi on syytä käydä läpi ne tekijät, mitkä tekevät täryjyrästä monikäyttöisen.

2. JYRIEN OMINAISUUDET

2.1 Painon jakautuma

Vetäville pyörille kertyvän painon tulee olla niin suuri, että saavutetaan riittävän hyvät kulkuominaisuudet eli vetokyky. Toisaalta liikanainen paino vetävällä akselilla aiheuttaa päällystystöissä liikaa jälkiä tiivistettävään pintaan.

2.2 Täryrummun halkaisija

Mitä suurempi täryrummun halkaisija on, sitä pienempi on rummun ja maanpinnan välinen vierintävastus. Mitä pienempi halkaisija on, sitä suuremmaksi tulee kyseisen rummun syvyysvaikutus.

2.3 Maalajin ominaisfrekvenssi/jyrän tärytaajuus

Kullakin maalajilla on ns. ominaisfrekvenssialue eli ominais-tärytaajuusalue, jolla tiivistettäessä maan liike saadaan suurimmaksi mahdolliseksi. Ominaisfrekvenssi vaihtelee vähän alle 20:n ja vähän yli 30:n Hz:n eli iskua sekunnissa välillä. Tiivistettäessä tarkasti ominaisfrekvenssialueella, resonanssi-ilmiö saattaa nousta niin suureksi, että rakenteen kiviaines rikkoutuu tai että vaurioitetaan ulkopuolisia rakenteita, kuten heikkoja perusmuureja. Siksi jyriin onkin katsottu viisaaksi valita maantiivistyksessä hiukan yleisimmin esiintyvien ominaisfrekvenssialueiden yläpuolella oleva tärytaajuus. Käytännössä se merkitsee, että liikutaan noin 30 Hz:n alueella. Tiivistystehon kannalta on ilmeisesti samantekevää, vaikka tärytaajuus olisi suurempikin, mutta tärykoneiston kestokyky joutuisi tällöin kovemmalle rasitukselle.

Asvaltin tiivistyksessä on todettu, että mitä suurempaa tärytaajuutta käytetään sitä parempi. Myös mm. pienten valssivoimien itsekulkevien täryjyrien liikkumisominaisuudet ovat riippuvaisia käytettävästä tärytaajuudesta.

2.4 Täryn amplitudi eli täryiskun pituus

Täryn amplitudi on yksi niistä tekijöistä, jotka merkittävästi vaikuttavat täryjyrän syvyystehoon. Jos amplitudi on suuri, on syvyysvaikutuskin suuri ja päin vastoin. Siitä seuraa pääsääntöisesti, että pientä amplitudia käytetään asvalttitöissä ja suurta amplitudia maarakennustöissä. Jos jyrässä on kaksi amplitudia tai jos se on portaattomasti säädettävä, konetta voidaan siis käyttää sekä asvaltilla että maarakenteilla. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyödyksi myös huomattavasti laajemmassa mielessä. Esim. raskaalla täryjyrällä tiivistettäessä käy usein niin, että tiivistettävän kerroksen ohut pintakerros löyhtyy, vaikka alla oleva rakenteen osa olisikin riittävän tiivis. Tämä ohut löyhtynyt pintakerros voidaan tiivistää käyttämällä pientä amplitudia. Täryn vaikutus ei silloin ulotu liian syvälle eikä näin ollen häiritse jo tiivistynyttä kerroksen osaa niin, että se alkaisi uudelleen löyhtyä. Pieni amplitudi voidaan valita myös silloin, kun työskennellään arkojen rakenteiden, kuten heikkojen perusmuurien läheisyydessä. Myös, jos tiivistettävän rakenteen alla on helposti häiriytyvä pohjamaa, on järkevää tiivistää käyttämällä pientä amplitudia.

2.5 Tärymassa

Tärymassalla tarkoitetaan täryssä mukana olevien koneen osien painoa. Esim. kumipyörävetoisilla itsekulkevilla jyrillä sen osuus täryrummulle tulevasta kokonaispainosta on noin 60...70 %. Tärymassa on toinen merkittävä syvyystehoon vaikuttava tekijä. Mitä suurempi tärymassa on, sitä suurempiin syvyystehoihin päästään. Määrätyn suuruinen tärymassa vaikuttaa aina tietynsuuruiseen maamassaan, olipa rummun halkaisija tai leveys mikä tahansa. Rummun halkaisijalla ja leveydellä on sitä vastoin merkitystä siihen, kuinka syvälle tai kuinka laajalle alueelle ympäristöön täry vaikuttaa. Jos halkaisija on suuri, vaikutus jakaantuu laajalle alueelle, ja mikäli se on pieni, kohdistuu vaikutus syvemmälle.

2.6 Keskipakovoima

Kentällä vallitsevan käsityksen mukaan keskipakovoima ja jyrän täryvoima tarkoittavat samaa asiaa tai että keskipakovoima olisi

täryjyrän tehokkuuden ilmaisin. Niin ei kuitenkaan ole asianlaita. Jos me vertaamme kevyttä ja raskasta täryjyrää toisiinsa, niin jokainen tietää, että raskaan jyrän syvyys-teho on suurempi kuin kevyen, vaikkakin niiden keskipakovoima olisi sama. Keskipakovoima voidaan saada samaksi täryakselin kierrosnopeutta säätämällä ja muuttamalla epäkeskopainon massaa. Suurta amplitudia eli voimakasta täryä vastaava keskipakovoima on jyrässä pienempi kuin pientä amplitudia vastaava.

2.7 Staattiset ominaisuudet

Staattiset tiivistämisominaisuudet ovat tärkeitä asvalttitöissä. Esimerkiksi täry-ylityskertojen jälkeen staattiset ylitykset ovat välttämättömiä mm. pinnan tasoittamiseksi. Staattisen viivapaineen tulee olla myös riittävän suuri hyvän tiivistämisominaisuuden saavuttamiseksi staattisilla ylityksillä. Viivapaineen olisi oltava myös määrättyssä suhteessa rummun halkaisijaan.

3. JYRÄKALUSTO

3.1 Tandem-jyrät (JTM 00-10-jyrät)

Tandem-jyriä on jo pitemmän aikaa käytetty varsinkin asvaltin tiivistyksessä. Pienissä tandem-jyrissä ohjaus tapahtuu yleensä etuvalssin avulla ja veto takavalssilla samoin kuin täry. Suuremmissa kokoluokissa koneet ovat yleensä runko-ohjattuja. Tandem-jyrien painot liikkuvat hiukan yli yhdestä tonnista yli kymmeneen tonniin. Raskaiden tandem-jyrien veto ja täry saatavat tapahtua molempien valssien avulla. Kaikkien uusimpien jyrämallien toiminnot alkavat olla hydrostaattisia eli neste-moottorein ja -pumpuin toimivia. Kaikki tandem-jyrät on suunniteltu ensisijaisesti asvalttitöitä ajatellen. Pienet yksirumpuvetoiset tandem-jyrät eivät olekaan mitään hyväkulkuisia koneita huonoissa olosuhteissa. Mikäli veto on molemmissa rummuissa, kuten raskaissa jyrissä useimmiten on asianlaita, liikkuvuusominaisuudet ovat sen sijaan erittäin hyvät. Raskaissa jyrämalleissa on yleensä myös kaksi täryn amplitudia ja frekvenssiä. Näin on päästy siihen, että tandem-jyrillä tul- laan erittäin hyvin toimeen myös rakennekerrosten ja penkereiden tiivistämisessä.

3.2 Itsekulkevat kumi- ja teräspyörävetoiset yksivalssitärejyrät (JTM 06-12 K-jyrät)

Tämän otsikon alle kuuluvat jyrät ovat työpainoltaan noin 6...15 tonnin painoisia, runko-ohjattuja ja hydrostaattisia toiminnoiltaan. Edessä on koko jyrän levyinen täryvalssi ja takaosassa ovat moottori, vetopyörät sekä ohjaamo. Hyvien liikkumisominaisuuksien aikaansaamiseksi on joissakin jyrämerkeissä itselukkiutuva tasauspyörästö vetoakselilla ja lisäksi edessä oleva täryrumpu voidaan varustaa vetävällä nestemoottorilla. Pelkästään maarakentamiseen tarkoitettut jyrät on varustettu ainoastaan yhdellä amplitudilla ja frekvenssillä ja ne on tarkoitettu korvaamaan lähinnä hinattavia täryjyriä. Muutamissa jyrämalleissa on kaksi amplitudia ja kaksi frekvenssiä tai sitten nämä säädöt voivat olla portaattomia. Tällaiset jyrät ovat monitoimijyriä, joita voidaan hyvin menestyksekkäästi käyttää hyväksi erilaisista pengerrystöistä rakennekerrokseen ja aina asvalttitöihin saakka. Edellytyksenä tietenkin on, että vetävinä pyörinä voidaan käyttää joko profiloituja tai sileitä kumirenkaita tai teräspyöriä tilanteen mukaan. Tällaiset yksivalssijyrät voivat olla myös hyvin nopeita, niiden maksimisiirtonopeus saattaa olla jopa yli 20 km/h. Runko-ohjauksen ansiosta ne ovat erittäin ketteriä ja kulkevat yhtä vaivattomasti eteen- ja taaksepäin. Tällöin tiivistettävän alueen päässä jyrää ei tarvitse kääntää ja näin lisääjat jäävät vähäisemmiksi kuin esim. hinattavia täryjyriä käytettäessä. Näillä jyrillä on myös hyvä syvyysvaikutus, jolloin siirtymäkiillatkin voidaan tiivistää tarvittaessa kerralla. Myös jyrän kuljettajan työskentelyympäristössä on tapahtunut valtava muutos verrattuna hinattaviin jyriin. Entinen vetoisa ja usein pölyinen työpaikka on muuttunut miellyttäväksi, lämpimäksi ja ilmastoiduksi ohjaamoksi, jossa hallintalaitteet ovat sopivasti käden ulottuvilla. Jotta amplitudin ja frekvenssin säätömahdollisuuksista saataisiin irti kaikki hyöty, tulisi kuljettajan olla perillä niiden vaikutuksesta. Asvaltin tiivistyksessä täryjyrän käyttö vaatii huomattavasti enemmän kuljettajalta tiivistystietoa kuin tiivistäminen staattisilla jyrillä.

3.3 Muut tiivistäjät

Tärylevyt ja kaksoistäryvalssijyrät ovat jo pitkään olleet rakentajien käytettävissä. Uutta tärylevyissä edustaa lähinnä se, että hyvin useisiin malleihin on tullut suunnanvaihtomahdollisuus. Tämä helpottaa etenkin ahtaissa kaivannoissa työskentelyä. Muutokset kaksoistäryvalssijyrissä ovat rajoittuneet lähinnä erilaisten ohjausjärjestelmien kehittämiseen, koska puhtaasti aisaohjattu jyrä on joissakin olosuhteissa varsin raskas käännettävä.

4. TIIVISTÄMISEN ONGELMAT

Tiivistämisen ongelmat kohdistuvat ensisijaisesti konevalintoihin, materiaaliin sekä ylityskertamääriin. Varsin usein konevalinnat heijastelevat valitsijan suhtautumista tiivistämiseen yleensä. On aivan eri asia valitaanko työhön halpa jyrä, jonka soveltuvuus ko. työhön on huono, vai tehdäänkö työ tarkasti harkitulla kalustolla, josta kenties joudutaan maksamaan enemmän. Päämääränä tulee ehdottomasti pitää sitä, että rakenne on valmiina laatuvaatimukset täyttävä ja että jokainen rakenteen osa on kunnollisesti käsitelty. Laatuvaatimukset alittava rakenne on hyvin usein kallein rakenne sen vaatimien jälkitöiden takia.

Valitettavasti useimmat rakentajat joutuvat tekemisiin jossain vaiheessa materiaaliongelmiensa kanssa. Kiviaines saattaa olla liian kivistä, routivaa, tasarakeista jne. Materiaalin raekokosuhte (D) kuvaa materiaalin tiivistyvyyttä.

$$D = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Tässä kaavassa d_{60} tarkoittaa materiaalin raekokoa seulontaprosentti 60 kohdalla ja d_{10} materiaalin raekokoa seulontaprosentti 10 kohdalla. Saksalaisten tutkimusten mukaan raekokosuhteen ollessa alle viisi materiaali on erittäin vaikeasti tiivistettävissä haluttuun tiivistysasteeseen. Jos suhde on viidestä kymmeneen, materiaali on huomattavasti paremmin tiivistyvää.

Optimi on 35. Suomessa TVH:n vaatimus jakavalle soralle on vähintään 12, mutta mieluummin 15.

Koska tiivistymiskehitys on vuoroin nousevaa ja laskevaa jyräyskertamäärien suhteen ja usein vielä eriaikaisten kerroksen eri osissa, on ensiarvoisen tärkeää tietää, milloin tiivistäminen olisi lopetettava. Onkin pyrittävä keräämään kokemusperäistä tietoutta käytettävällä jyrätyypillä aiemmin saaduista kokeiluista. Ellei muuta tietoa ole käytettävissä, voidaan nyrkkisääntönä pitää joko 4...6 tai 8...12 ylityskertaa. Jälkimmäistä ylityskertamäärää vastaava tiiviysaste on yleensä ensimmäistä korkeampi. Kumipyöräjyrillä tulisi käyttää n. 16 ylityskertaa.

Koska materiaali tiivistyy parhaiten optimikosteana, jolloin saavutettava kuivatilavuuspaino on suurin mahdollinen, kannattaa liian kuivaa materiaalia kastella, mikäli se käy kätevästi päinsä. Kerralla tiivistettävää kerrosvahvuutta ei kannata ahnehtia liikaa. Esim. alle kahden tonnin painoisilla täryjyrillä tulisi pyrkiä jyräämään noin 30 cm, eikä missään tapauksessa yli 50 cm:n vahvuisia kerroksia. Vielä noin 10 tonnin painoisilla täryjyrilläkin tulisi pysytellä alle metrin kerrosvahvuuksissa.

5. TALVITIIIVISTÄMINEN (alle + 5 °C)

Pääsääntönä on pidettävä, että jyrä olisi itsekulkeva ja riittävän kapasiteetin omaava, jotta materiaali ehdittäisiin tiivistää sulana. Materiaali on välttämätöntä tiivistää levitystyön yhteydessä, sillä tiivistymisominaisuudet heikkenevät jo muutaman tunnin kuluttua olennaisesti. Lämpötilalla on kuitenkin merkitystä vasta, kun maa-aines on kosteaa. Koska hienojakoisten maalajien kosteuspitoisuus on varsin suuri, niiden tiivistäminen ei yleensä kannata talviaikana. Käytettäessä JTM 06-09 K-jyriä eristys- ja jakavakerros tulisi tiivistää samalla kertaa nolla-asteeseen saakka, koska niiden teho riittää monikerrosrakenteenkin tiivistämiseen (käytetään isoa amplitudia). Kumipyöräjyrät on myös todettu sopiviksi talvitiiivistäjiksi, mutta niillä on eristys- ja jakava kerros tiivistettävä erikseen. Materiaalin tulokapasiteetin tulisi olla n. 200 m³/h ja jyräämisen jatkuvaa. Tällöin kerrosvahvuuden ollessa 0,5 m löyhänä mitattuna, jyräyskertamäärät pysyvät sopivina (n. 16). Liian pieni tulokapasiteetti aiheuttaa ylijäräystä.

6. TIIVISTYSTARKKAILU

Käytössä on pääasiassa kaksi varsinaista tiivistystarkkailukoetta: parannettu proctor-menetelmä ja levykuormituskoe. Proctor-menetelmää käytetään eristyshiekalla sekä jakavalla kerroksella ja levykuormituskoeita lähinnä kantavalla ja jakavalla kerroksella. Kivisyyden lisääntyessä proctor-menetelmän luotettavuus vähenee voimakkaasti. Levykuormituskokeella voidaan tutkia 1...1,5 kertaa kuormituslevyn halkaisijan vahvuisia kerroksia. Paras tiivistystarkkailumenetelmä talvella on työtapatarkkailu ja se voi tulla kysymykseen myös kesällä, jos muita menetelmiä ei ole käytettävissä.

7. KUSTANNUKSET

Kirjasen "Maarakenteiden tiivistäminen" mukaan pintakapasiteetit (K2) eri tyyppisille jyrille ovat seuraavat:

- Kumipyöräjyryä JK 20 (jyräysnopeus 10 km/h) 18800 m²/h/n
- Hinattava täryjyryä JT 05 (nopeus 4 km/h) 5130 m²/h/n

Kumipyörävetoisen itsekulkevan täryjyrän pintakapasiteetti on n. 15...20 % pienempi kuin JK₂₀ jyrän (molemmat 5 km/h nopeudella) eli n. 7900 m²/h/n. Tässä on edellytetty jyrättävän alueen pituudeksi 400 m. n = ylityskertamäärä.

JK 20 jyrällä on yleisesti käytettävä jakavalle 16 ylityskertaa sekä eristyksellä keskimäärin 6 ylityskertaa ja JT 05 sekä JTM 09 K-jyrillä 5 tai 10 ylityskertaa (tässä esimerkissä 10 ylityskertaa).

TVH:n enimmäisohjevuokrahinnat:

- a) JK 20 87,00 mk/h
- b) JT 05 + TR 40 4-veto (4-vetotraktori) 69,00 mk/h
- c) JTM 09 K 91,50 mk/h

Pintakapasiteettia vastaavat kustannukset:

- a) JK 20

$$\frac{87,00 \text{ mk/h}}{1170 \text{ m}^2/\text{h}} = 0,074 \text{ mk/m}^2$$

b) JT 05

$$\frac{60,00 \text{ mk/h}}{510 \text{ m}^2/\text{h}} = 0,135 \text{ mk/m}^2$$

c) JTM 09 K

$$\frac{91,50 \text{ mk/h}}{790 \text{ m}^2/\text{h}} = 0,116 \text{ mk/m}^2$$

Massakapasiteetit ja vastaavat kustannukset:

Esim. Tiivistetään 30 cm vahva eristyskerros ja 40 cm vahva jakava kerros.

a) JK 20

Kerrokset tiivistetään erikseen.

$$\frac{87,00 \text{ mk/h}}{0,30 \text{ m} \cdot 3130 \text{ m}^2/\text{h}} + \frac{87,00 \text{ mk/h}}{0,40 \text{ m} \cdot 1170 \text{ m}^2/\text{h}} = 0,28 \text{ mk/m}^3 \text{ rtr}$$

b) JT 05 + TR 40 4-veto

Kerrokset tiivistetään yhdessä jakavan päältä.

$$\frac{69,00 \text{ mk/h}}{0,70 \text{ m} \cdot 510 \text{ m}^2/\text{h}} = 0,19 \text{ mk/m}^3 \text{ rtr}$$

c) JTM 09 K

Kerrokset tiivistetään yhdessä jakavan päältä.

$$\frac{91,60 \text{ mk/h}}{0,70 \cdot 790 \text{ m}^2/\text{h}} = 0,16 \text{ mk/m}^3 \text{ rtr}$$

Esimerkin valossa JTM 09 K näyttää olevan halvin massatiivistyskustannuksiltaan, kun taas JK 20 näyttää olevan selvästi halvin pintatiivistyksessä ja selvästi kallein kaksikerrostiivistämisessä. On vielä huomattava, että jos tiivistettävän alueen pituus on alle 400 m, JT 05:n kapasiteetit pienenevät huomattavastikin. Lisäksi tässä liikutaan JT 05:n syvyysvaikutuksen ylärajoilla, ehkä jopa lievästi sen yläpuolella. JTM 09 K:n syvyysteho riittäisi vahvemman kerroksen tiivistämiseen. Materiaalin kastelu saattaa nostaa tiivistämiskustannukset lähes kaksinkertaiseksi.

KIRJALLISUUS

1. Saarela A., Maakerrosten tiivistäminen. Tie- ja vesirakennushallituksen järjestelytoimiston julkaisu 1974, n:o 2871

2. Saarela A., Talvitiivistyksen vaikutuksesta tien alusrakenteen ja sitomattomien päällysrakennekerrosten tiivistykseen. 1974. Oulun Yliopisto
3. Tie- ja vesirakennushallituksen järjestelytoimisto. Tiivistystekniikkaa tien rakentamisessa 1971. Julkaisu n:o 2840
4. Annala M., Tien sitomattomien päällysrakennekerrosten tiivistämisestä. Jyväskylä 1973
5. Bomag-tehtaan tutkimukset, Saksan Liittotasavalta, Boppard. Julkaisematon

Tekn.tri Lasse Weckström

STABILOINTI

1. YLEISTÄ

Sementin ja kalkin käyttö sideaineena tien- ja kadunrakennuksessa on meillä Suomessa kuin myös ulkomailla saavuttanut vakiintuneen aseman. Yksistään tie- ja vesirakennuslaitoksen piirissä on pelkästään sementillä sidottuja kerroksia rakennettu noin 1,8 milj. m² vuodesta 1960 lähtien, jolloin sidottujen rakenne- ja päällystekerrosten käytön voidaan maassamme varsinaisesti katsoa vasta alkaneen.

Sementti- ja kalkkistabiloinnin käytön yleistyminen ei olisi voinut olla mahdollista, elleivät lujitetut tieosat olisi kestäneet liikenteen aiheuttamaa rasitusta hyvin ja ellei sementin ja kalkin käyttö sideaineena ja työmenetelmänä muutenkin olisi ollut taloudellisesti edullista. Referenssikohteita löytyy tosin mm. Tiibetin ylängöltä aikajaksolta noin 3000 e.Kr. ja roomalaisten rakentama Via Appia on myös "kalkkistabiloitu".

1960-luvun alkupuolella, jolloin tienrakennustoiminta eli voimakkainta kehityskauttaan maassamme, toteutettiin myös toistaiseksi laajin stabilointityökin, yhteensä noin 44 km:n matkalla valtatie n:o 6 välillä Lappeenranta-Imatra. Vaikka kokemukset tällöin olivat varsin myönteisiä, rakenne "unohtui" lähes vuosikymmeneksi tullakseen nyt uudelleen suunnitelma-asiakirjoihin mukaan. Syitä tällaiseen kehitykseen lienee useitakin, mutta bitumin sekä sementin ja kalkin hintasuhteen voimakas muuttuminen sementin ja kalkin eduksi on ollut yksi, toisen merkittävän syyn ollessa se, että nykyisin on entistä enemmän jouduttu kiinnittämään huomiota tierakenteen kantavuuteen ja tierakennusmateriaalien riittävyys. 1960-luvulla taas tie-
laitoksen keskeisenä tehtävänä oli saada teetettyä uutta, päällystettyä tietä vuosittain mahdollisimman suuri määrä, alku-

vuosina varsin paljon vain öljysorapintaiseksi. Rakentaminen jatkui näin aina 1970-luvulle, mistä lähtien päällysteiden uusiminen ja rakenteiden parantaminen on jo muodostanut suuremman työkentän kuin uusien teiden rakentaminen.

2. MÄÄRITELMIÄ JA PERUSTEITA

Stabiloinnilla eli lujituksella tarkoitetaan toimenpidettä, jolla mm. tienrakennuksessa käytettävien rakennusmateriaalien kantavuus-, routivuus- ym. ominaisuuksia parannetaan sementtiä, kalkkia tai bitumia käyttäen.

Kalkkilujituksen lopputulosta, joka yleensä kohdistuu varsinaiseen perusmaahan, ei yleensä nimitetä kuin kalkkistabiloiduksi perusmaaksi, kun taas sementillä lujitettuja rakenteita varsin usein nimitetään maabetoneiksi. Tarkemmin määriteltynä maabetoniksi voitaisiin kuitenkin nimittää vain sellaisia sementtilujituksia, joiden runkoaineena on luonnonkiviaines, kun taas esim. murskesoran ja sementin seosta tulisi paremminkin nimittää sementtilujitetuksi murskesoraksi. Käsitteet kaipaavat siis tässä mielessä täsmennyksiä.

Mitä sitten sementtilujitetuilla rakenteilla tarkoitetaan? Periaatteessahan niissä sementti ja vesi yhdessä muodostavat sideaineen, joka sitoo kiviainesrakeet yhteen. Vaikka näin on asianlaista myös varsinaisessa betonissa, on maabetonissa sementtiä siksi vähän, että voidaan puhua ainoastaan sementillä lujittamisesta eli stabiloinnista. Maabetonin lujuus suhteitetaan rakenteen pakkasenkestävyyden varmistamiseksi vähintään 3 MN:ksi/m^2 (30 kp/cm^2), mutta kuivumiskutistumien välttämiseksi sen lujuus saa olla enintään 6 MN/m^2 (60 kp/cm^2). Mikäli rakenteen lujuus ylittää tämän lujuusalueen, oltaneen jo laiha betonin lujuuksissa, jotka yltävät aina 100 kp:iin/cm^2 saakka. Vasta tästä puristuslujuudesta ylöspäin alkavat varsinaisten rakennebetonien lujuusluokat, K-10, K-15 jne. Maabetonin kyseessä ollen lujuuksilla kylläkin tarkoitetaan suunnittelulujuutta 7 vuorokauden ikäisenä, mikä on noin 70...75 % 28 vuorokauden, lähes lopullisesta puristuslujuudesta.

Puristuslujuudeltaan maabetoneja heikommista, sementillä lujitetuista rakenteista käytetään nimitystä laiha maabetoni. Tällaisessa maassa käytetään sementtiä vain sen verran (2...4 %), että maa pysyy koossa ja kestää veden aiheuttamaa eroosiota.

Lujuusvaatimuksia ei laihalle maabetonille aseteta, koska sen pääasiallisia käyttökohteita ovat mm. erilaisten kaivantojen täyttömassat sekä siirtymäkiilarakenteet.

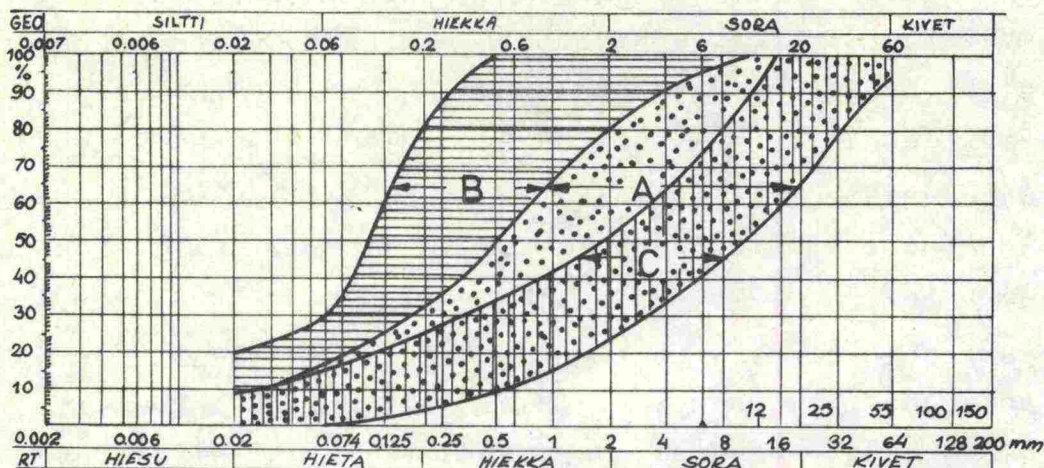
Maabetonin suurin etu tien- ja kadunrakentajalle on sen hyvä kantavuus. Tämän ansiosta rakennekerrosten paksuuksia voidaan huomattavasti ohentaa. Ja vaikka maabetoni ei sinänsä estä routaa tunkeutumasta maaperään, voidaan tiiviiksi jyrätyllä maabetonisella laattalla huomattavassa määrin tasoittaa routanousuja sekä toisaalta epätasaisesta painumisesta aiheutuvia muodonmuutoksia. Maabetoni todella pystyy tähän, sillä ohuiden hiushalkeamien ansiosta se sijoittuu rakenteena joustavien asfaltti- ja jäykkien betonirakenteiden väliin.

3. STABILOINNIN SOVELTUVUUSALUEET

Sementti- ja kalkkistabilointityöt poikkeavat toisistaan niissä käytettävien erilaisten sideaineiden lisäksi myös lujittamistyön kohteen osalta siten, että kalkkistabilointi yleensä kohdistuu perusmaahan ja sementtilujitus taas tavallisimmin varsinaisiin rakennekerrokseen. Tällainen jako johtuu luonnollisesti siitä, että rakennekerroksissa käytettävät materiaalit poikkeuksetta ovat kitkamaalajeja ja yleensä routimattomia, kun taas perusmaa, edellyttäessään kantavuuden lisäystä, on tavallisesti savea tai hienoa hiesua.

Kaaviokuvassa 1 on rakeisuusohjealueen muodossa esitetty sementillä, bitumilla ja kalkilla lujitettaviksi soveltuvien maalajien rakeisuudet. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että lähes kaikki kivennäismaalajit voidaan stabiloida sementillä.

Ohjealue jakaantuu edelleen kahteen osa-alueeseen A ja B. Näistä A edustaa lähinnä taloudellista stabilointia. Osa-alueen B materiaalin käyttö tulee yleensä kysymykseen taloudelliselta kannalta arvioitaessa vain silloin, kun materiaali on valmiina työkohteessa tai tästä vain lyhyen ajomatkan päässä.



Kuva 1. Stabilointiin sopivien maalajien ohjealueet. Osa-alue C edustaa bitumilla taloudellisesti sidottavien kerrosten rakeisuutta.

Moreenit, joiden rakeisuuskäyrät voivat leikata osa-alueiden A ja B välisen rajan, soveltuvat erittäin hyvin sementillä luji-tettaviksi, ellei niiden suuri lohkareisuus tai vesipitoisuus aseta työlle esteitä. Myös esim. vanhojen savisorateiden kulu-tuskerrosmateriaali on mitä parhaiten luji-tettavissa sementillä.

Pääperiaatteena stabilointityötä suunniteltaessa tulisi olla, että kiviaines saadaan mahdollisimman läheltä käyttökohdetta ja mieluummin itse työkohteesta.

4. STABILOINTIMENETELMÄT

Stabilointimenetelmiä on käytännössä kaksi toisistaan periaat-teeltaan poikkeavaa tapaa: paikallasekoitus - eli tiesekoitus-menetelmä (mix-in-place) ja asemasekoitusmenetelmä (mix-in-plant), joka nimensä mukaisesti kuvaa tätä "teollista" massan valmistustapaa. Kalkkistabiloinnin yhteydessä voi ainoastaan paikallasekoitusmenetelmä tulla kysymykseen, kun taas sement-tistabilointi voidaan työkohteen mukaan tehdä joko asema- tai paikallasekoituksena.

4.1 Paikallasekoitusmenetelmässä kiviaines, sideaine ja vesi sekoitetaan työkohteessa, mikä tämän jälkeen tiivistetään lopul-liseksi rakenteeksi.

Stabiloitava kiviaines voi olla paikalla olevaa luonnonainesta, vanhaa tienpintamateriaalia tai paikalle joko osittain tai kokonaan ajettua kiviainesta.

Ennen varsinaista stabilointityötä joudutaan yleensä tekemään valmistelevia töitä, jolloin mm. lujitettava alue on revittävä auki ennen sideaineen sekoitusta ja tässä vaiheessa voidaan myös mahdollinen materiaalin rakeisuuden parantamiseksi tarvittava lisäkiviaines parhaiten sekoittaa perusmateriaaliin tarpeellisiin kohtiin.

Sideaine, sementtistabiloinneissa normaali Portland sementti ja kalkkistabiloinnin yhteydessä joko sammutettu (Ca(OH)_2), tai kosteampien pehmeiköiden osalla sammuttamaton kalkki (CaO), levitetään erikoislevittimillä, kuva 2 parhaiten säiliöauton painejärjestelmää hyväksi käyttäen, tasaiseksi matoksi vetämällä. Pienissä työkohteissa voidaan käyttää myös säkitettyjä sideaineita, joiden levitys tapahtuu käsin joko haravaa, lapiota tai kolaa apuna käyttäen. Suuremmissa työkohteissa on sideaineen koneellinen levitys välttämätön työn taloudellisen sekä teknisesti hyvän ja tasalaatuisen lopputuloksen takaamiseksi.



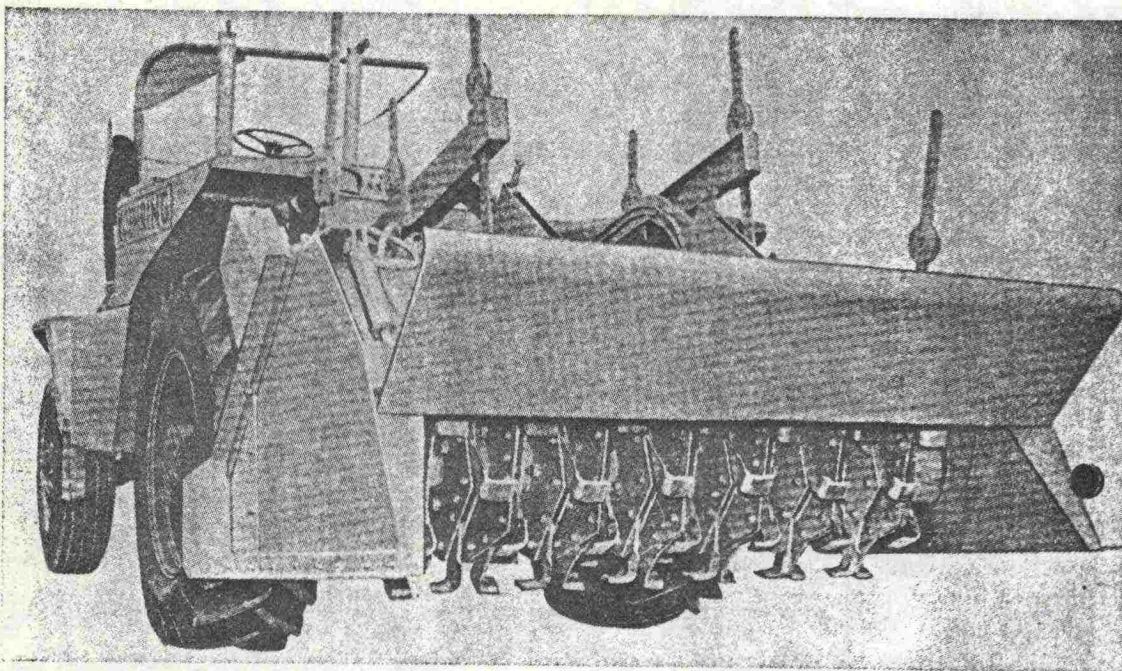
Kuva 2.

Veden lisäyksen ja levityksen tulee tapahtua tasaisesti koko lujitettavalle alueelle ja tämä tapahtuu yleensä parhaiten kasteluautoja käyttäen.

Paikalla sekoitetun massan poikkileikkausmuoto joudutaan usein vielä tarkistamaan tiehöylällä ennen tiivistystyön aloittamista. Tiivistyksessä käytetään valssi-, kumipyörä- tai täryjyriä, tai niiden yhdistelmiä eli samoja välineitä kuin sitomattomienkin kerrosten tiivistämisessä.

Varsinainen paikallasekoitus tapahtuu erityisillä stabilointisekoittimilla, jotka kaikki toimintaperiaatteeltaan ovat samanlaisia rotavaattoreita, jotkut maataloustraktorin perään asennettavia, toiset kiinteiksi rakennettuja työkoneita.

Kuva 3.



Kuva 3.

4.2 Asemasekoitusmenetelmässä massan valmistus voi tapahtua tavanomaisella betoniasemalla, erityisellä maabetoniasemalla ja vaikkapa asvaltti- tai öljysora-asemalla. Edellytyksenä tällöin vain on, että kiviaines, sementti ja vesi saadaan riittävän tarkasti ja työselityksen vaatimusten mukaisesti mitatuksi ja sekoitetuksi.

Massa levitetään rakennettavaan kohteeseen yleensä asfaltinlevittimellä, sepelinlevittimellä tai tarkoitukseen soveltuvalla levityskelkalla. Myös tiehöylä soveltuu tarkoitukseen hyvin, kunhan massan yllirunsas käyttö tässä yhteydessä pystytään eliminoimaan. Tiivistystyö suoritetaan samalla tavalla ja kalustolla kuin paikallasekoituksenkin yhteydessä.

5. STABILOINTIKUSTANNUKSISTA

Kalkkistabiloinnin vaikeimpia työvaiheita on kalkin levitys, minkä sujuvuuteen laskelmien työmaakustannusten muodostumisesta on perustuttava. Tämä johtuu siitä, että sellaisissa työkohteissa, joissa kalkkistabilointia ylipäänsä tarvitaan, on pohjamaa tavallisesti huonosti kantavaa, pehmeää ja ras-kaan kalkkikuorman ja sen levityslaitteen alla upottavaa. Ellei työmaalla ole käytettävissä silloa sideaineen välivarastona, lienee noin 20 kalkkitonnin levittämistä työpäivää kohti pidettävä pienissä työkohteissa keskimääräisenä työsaavutuksena.

Mikäli kalkin keskimääräiseksi käyttömääräksi arvioidaan 20 kg/m^2 , merkitsee tämä noin 1000 m^2 :n päivittäistä alaa.

Määrää on pidettävä verraten vähäisenä, mutta on muistettava, että niin kalkin levitys kuin sen sekoitus ja rakennekerroksen tiivistäminenkin tapahtuu vaikeakulkuisella, huonosti kantavalla pohjalla, joka juuri tästä syystä tarvitsee stabilointia.

Sammuttamattoman kalkin käsittelyssä on työmaalla noudatettava suurta varovaisuutta kalkin ihoa, silmiä ja hengityselimiä syövyttävän vaikutuksen eliminoimiseksi.

Työsaavutusta arvioitaessa rakennettaessa maabetonikerrosta tiesekoitusmenetelmällä on se myös luonnollisinta laskea työssä käytettävän sementin määrästä. Keskimääräisenä työsaavutuksena voitaneen pitää 40...60 tonnia sideainetta/työvuoro, mikä merkitsee sekoitusvyödydestä ja sementin käyttömäärästä riippuen $1500...3000 \text{ m}^3$:n alaa.

Käytettäessä asemasekoitteista maabetonia, riippuu työn edistyminen sekoituskoneiston tehosta, joksi voidaan arvioida:

- betoniasemat	60... 90 t/h
- asvalttiasemat	80...120 "
- maabetoniasemat	100...150 "

Sekä kalkki- että sementtistabiloinneissa paikallasekoitusmenetelmää käytettäessä merkitsee sideaineen osuus kokonaiskustannuksista noin puolta, mikä lujitettavan kerroksen paksuudesta, maalajien rakeisuudesta sekä työmaan sijainnista riippuen keskimäärin merkitsee noin $5...6 \text{ mk/m}^2$. Kun työhön tarvittava kokonaisaika tunnetaan, onkin helposti arvioitavissa kastelusta,

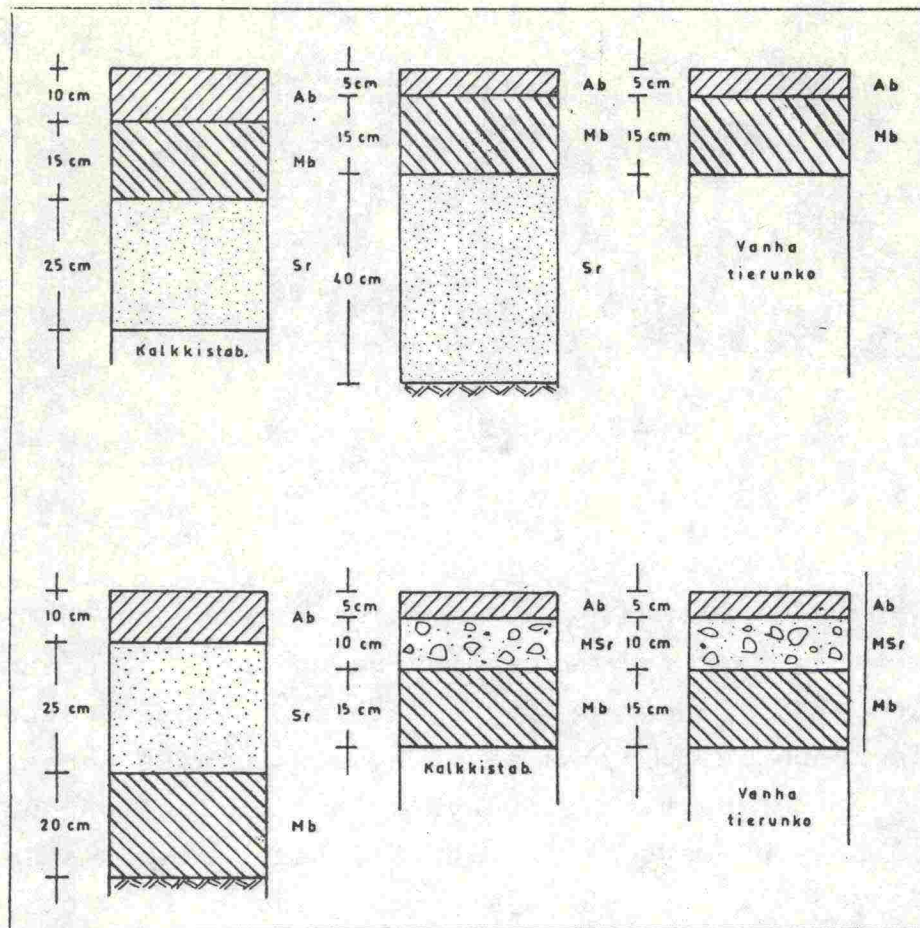
sideaineen sekoittamisesta, tiivistyksestä ja pinnan muotoilusta sekä mahdollisesta liikenteen järjestelystä aiheutuvat kustannukset. Kohtuulliset yleiskustannukset sisältyvät luonnollisesti urakoitsijan antamaan tarjoushintaan.

6. MENETELMÄVALINNASTA JA KEHITYSNÄKYMISTÄ

Maabetonin valmistuksessa ollaan meillä Suomessa kuin ulkomaillakin siirtymässä yhä enemmän asemasekoitteisen massan käyttöön paikallasekoitetun maabetonin käytön rajoittuessa pienempiin työkohteisiin. Kehitys on näin suuntautunut, koska asemasekoitetulla massalla saavutetaan useita etuja:

- Stabiloitava kerros voidaan rakentaa ohuempana, sillä lopputulos on homogeenisempi ja sen paksuus tarkempi kuin tiellä sekoitetun kerroksen. Asemasekoitettuja 12...15 cm:n kerrospaksuuksia vastaavat 15...20 cm:n paksuiset tiesekoitusmenetelmällä valmistetut kerrokset.
- Asemasekoitteisen massan kiviaines voidaan helposti suhteittaa useimmista komponenteista, jolloin kiviaineksen rakeisuuskäyrä saadaan stabilointityön kannalta edullisemmaksi, paremmin tiivistyväksi ja vähemmän sementtiä vaativaksi.
- Asemasekoitetun, alhaisella sementtipitoisuudella (3,5... 4,5 %) valmistetun maabetonikerroksen ja kulutuskerrokseksi rakennettavan asfalttikerroksen väliin ei tarvitse rakentaa sitomatonta esim. murskekerrosta, kuten on asiantaita kuivumiskutistumishalkeamien eliminoimiseksi paikallasekoitettujen, suuremmilla sementtipitoisuuksilla (5,0...7,0 %) valmistettavien maabetonikerrosten osalla.
- Asemasekoitusmenetelmällä suoritettavat maabetonityöt soveltuvat urakoitaviksi tiesekoitusmenetelmällä tehtäviä paremmin, koska mm. mittaukset ja laadun arvostelu ovat tällöin täsmällisemmin suoritettavissa.

Rakennuttajalle tulee maabetonikerroksen rakentaminen asemasekoitusmenetelmällä edullisemmaksi kuin paikallasekoittaen, milloin työkohteen suuruus ylittää 15 000...20 000 m²:n määrän. Käytännössä on usein todettu, että valinta paikalla- ja asemasekoitteisen massan välillä on vaikea. Perussääntönä voidaan

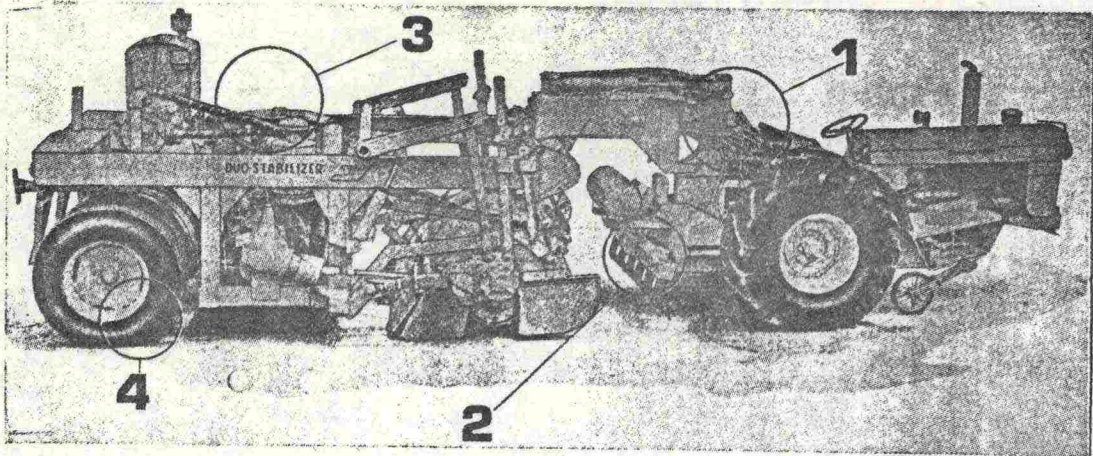


Kuva 4. Erilaisia maabetonin käyttömahdollisuuksia tierakenteessa. Ylemmässä rivissä esitetyt soveltuvat asemasekoitetusta ja alemmassa paikallasekoitetusta massasta valmistettaviksi.

pitää sitä, joudutaanko esitöitä tekemään paljon ja joudutaanko lisämateriaalia tuomaan muotoiluun, levityksiin ym. Tällöin ei saada esim. vanhan tiemateriaalin käytöstä syntyvää hyötyä eduksi, vaan asemasekoitteinen massa voi tulla halvemmaksi.

Paikallasekoitus yleensä tapahtuu edellä esitetyillä stabiointisekoittimilla, rotavaattoreilla, mutta esim. USA:ssa on kehitetty liikkuvia laitteita, jotka "purkavat" vanhan tien, lisäävät sideaineen ja veden sekä esitiivistävät massan. Tällainen yleisstabiointikone edustaa lähinnä paikallasekoitusmenetelmän välimuotoa. Kuva 5.

Maabetonirakenteeseen syntyy aina halkeamia. Halkeamat syntyvät useimmiten jo muutaman päivän kuluttua siitä, kun stabi-



Kuva 5.

loitu kerros on rakennettu, mutta ne eivät yleensä lisäänty ajan mukana. Se, että maabetonin halkeilusta puhutaan verraten runsaasti, johtune siitä, että se on tämän rakentamistavan ainoa probleema, joka tästä syystä tuodaan korostetusti esille. Joka tapauksessa syntyvien halkeamien koko on pyrittävä saamaan niin pieneksi kuin mahdollista pienintä mahdollista sementtimäärää käyttäen. Ajatus perustuu siihen, että heikompi rakenne halkeilee useammasta khdasta ja siksi halkeamat tällöin ovat pienempiä. Samankaltaisia käsityksiä tukevat ne ulko-maiset määräykset, joiden mukaan päivän parin ikäinen maabetonikerros tulisi vielä jyrätä täryttäen, jolloin rakenteeseen syntyisi useita ohuita halkeamia, jotka näin estäisivät myöhemmin suurempien, mutta vastaavasti harvemmassa sijaitsevien halkeamien muodostumisen.

Halkeamien eliminoinnissa on kehitetty myös erilaisia erikois-sementtejä ja erään tuotekehitystyön tuloksena syntyi erityinen stabiloinnin ankkurointikone (Gunnar Olsson), jonka tarkoituksena on kiinnittää stabiloitu kerros liikkumattomaksi alustansa. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että parhaaseen lopputulokseen halkeamien suhteen on päädytty käytettäessä pientä sementtipitoisuutta sekä mahdollisimman alhaista vesimäärää.

KIRJALLISUUSVIITTEITÄ

1. Sementtiyhdistys ry., Sementti- ja kalkkistabilointi, suunnittelukurssi. Kaupunkiopisto, Kivenlahti, Espoo, 30...31.10. 1975

2. Tie- ja vesirakennushallitus. Stabilointiohjeet. Kalkki- ja sementtistabilointi. TVH n:o 2.614/1972
3. Weckström L., Maabetonin käyttömahdollisuuksista. Maansiirto 6/1976
4. Weckström L., Maabetoni asvalttipäällysteen alustana. Asvaltti 16/1974

Fil.toht. Reijo Gardemeister

SYNTEETTISET KUIDUT MAARAKENTAMISESSA

1. JOHDANTO

Synteettisillä materiaaleilla tarkoitetaan tässä yhteydessä orgaanisista tekokuiduista (polyamidi, polyetyleni, polypropyleeni, polyesteri jne.) valmistettuja tuotteita, kuten kankaita, levyjä yms. Näiden tuotteiden ensimmäiset käyttösovellutukset maa- ja vesirakennuksessa ovat tapahtuneet jo ennen toista maailmansotaa. Olennainen kehitys on kuitenkin tapahtunut viimeksi kuluneiden kahdenkymmenen vuoden aikana. Synteettisiä materiaaleja on sovellettu vesirakennuksessa ensimmäisenä Hollannissa, jolloin käytettiin synteettisiä kalvoja vesiväyliin pohjan suojaukseen. Varsinaiset käyttösovellutukset alkoivat 1950-luvun lopulla Hollannissa suoritettujen kokeiden jälkeen, jotka osoittivat hiekalla täytettyjen nailonsäkkien soveltuvan mm. patorakenteisiin. Tämän jälkeen synteettisten materiaalien käyttö on laajentunut käsittämään monia sektoreita maa- ja vesirakennuksen monipuolisesta kentästä.

Maa- ja vesirakennukseen käytetyt synteettiset materiaalit ovat useissa tapauksissa olleet teollisuuden muuhun tarkoitukseen valmistamia tuotteita. Näille on haettu lisäkäyttöä, tai niitä on kokeiltu maa- ja vesirakennuksen piirissä. Viime aikoina on myös paneuduttu näiden materiaalien kehittämiseen erityisesti maa- ja vesirakennusta varten. Synteettisten materiaalien etuina on mm. niiden vähäinen paksuus, pieni paino, joustavuus sekä kestävyys veden ja rappautuvien tekijöiden vaikutusta vastaan. Ne voivat toimia sekä tiivistävänä että suodattavana materiaalina. Ominaisuuksiensa johdosta niillä voidaan korvata luonnon rakennusmateriaaleja tai täydentää näiden ominaisuuksia. Luonnon materiaali-voimien vähetessä ja kuljetus- ja -kustannusten kasvaessa mielenkiinto synteettisiä tuotteita kohtaan on viime aikoina lisääntynyt.

Maarakennusalan monipuolisuuden johdosta synteettisten kuitumateriaalien käyttömahdollisuudet ovat laajat. Niitä voidaan käyttää esim. seuraavissa tapauksissa:

- maapatojen ja altaiden tiivistäminen
- luiskien tukeminen kalvoilla, levyillä tai esim. hiekalla täytetyillä kuiturakenteilla
- maa-aineksesta tehtyjen suodattimien korvaaminen kuitukankaalla tie- ja vesirakenteissa
- pintaeroosion estäminen
- maapohjan kuivatus, käyttö suodattimena
- käyttö tukirakenteena ("raudoituksena") esim. asfalttipäällysteessä tai maapenkereissä

Suomessa synteettiset kuidut ovat tulleet maarakentamisessa näkyvästi esille vasta vuonna 1972. Tällöin aloitettiin näiden tuotteiden laajahko markkinointi ja suoritettiin ensimmäiset varsinaiset koeasennukset. Vaikka kuluneet muutamat vuodet ovat toistaiseksi olleet eräänlaista kokeiluaikaa, synteettisten materiaalien käyttöä on pidettävä jo huomattavan laajana suomalaisten maarakentajien keskuudessa.

Uusien materiaalien nopea käyttöönotto sekä varsinaisten ohjeiden puuttuminen ovat kuitenkin johtaneet siihen, että alan terminologia on ollut epäyhtenäistä ja käyttösovellutuksissa on esiintynyt kirjavuutta. Samaa epäyhtenäisyyttä on todettu myös pohjoismaisella tasolla. Tämän johdosta asetti Pohjoismainen Tieteknillinen Liitto vuonna 1976 työryhmän, jonka tarkoituksena oli tutkia kuitukankaiden käyttöä tienrakennuksessa. Työryhmässä on jouduttu pohtimaan mm. terminologisia kysymyksiä, jolloin todettiin pohjoismaisiin kieliin sopivaksi käyttää sanaa 'fiberduk'. Suomessa näistä tuotteista on toistaiseksi käytetty sanaa 'suodatinkangas'. Koska suodatinkankaita käytetään usein myös moniin muihin tarkoituksiin kuin toimimaan suodattimena, on pidettävä tarkoituksenmukaisena korvata sana 'suodatinkangas' sanalla 'kuitukangas'.

2. MATERIAALINEN RAKENNE JA OMINAISUUDET

2.1 Kuitumateriaali

Maarakentamisen yhteydessä Suomessa on toistaiseksi käytetty synteettisistä materiaaleista eniten edellä mainittuja ns.

suodatinkankaita (kuitukankaita). Näillä tarkoitetaan kangasmaisia tai huopamaisia tuotteita, jotka toimivat ensisijaisesti erilaisten maa- tai kiviainesten välisenä eristävänä kalvona tai suodattimena.

Kuitukankaiden raaka-aineena käytetään yleensä joko polypropyleeni- tai polyesterikuitua sekä jossain määrin myös polyamidia (nailonia) sekä polyetyleenä. Kuidut voivat olla ns. yksikomponenttisia, muodostua yhdestä ainoasta polymeeristä, tai ne voivat olla kaksikomponenttisia. Jälkimmäinen tarkoittaa, että yksikomponenttista kuitua ympäröi toinen polymeeri. Näillä kahdella polymeerillä on usein erilainen sulamispiste.

Pohjoismaissa markkinoitavat suodatinkankaat muodostuvat tällä hetkellä seuraavista kuitutyypeistä:

- yksikomponenttinen kuitu (esim. Polyfelt)
- kaksi yksikomponenttista kuitua (esim. Fibertex)
- yksikomponenttinen kuitu yhdessä kaksikomponenttisen kuidun kanssa (esim. Terram)

Tuotannossa käytettävät kuidut ovat pääosiltaan äärettömän pitkään jatkuvaa kuitua, ns. filamenttia.

2.2 Valmistusmenetelmät

Tällä hetkellä käytössä olevat kuitukankaat voidaan rakenteeltaan jakaa seuraaviin kahteen päätyyppiin:

- kudottu rakenne
- filtrattu rakenne

Rakenteeltaan kudotuissa kuitukankaissa ei kuituja kiinnitetä erityisellä sitomismenetelmällä. Ne kiinnittyvät ainoastaan kuten tavalliset tekstiilit kudonnan yhteydessä.

Pohjoismaissa käytetään eniten rakenteeltaan filtrattuja kuitukankaita. Näissä kuidut on liitettävä toisiinsa jotakin kiinnitysmenetelmää käyttäen. Kiinnitysmenetelmiä ovat

- neulonta
- lämpökäsittely
- sidonta-aineen lisäys

Neulonnessa kuitukangas kulkee rei'itetyn pöydän poikki, jossa ylös-alassuunnassa liikkuvat neulat sitovat kuidut yhteen.

Lämpökäsittelyssä toisiaan sivuavat kuidut (filamentit) sulautuvat kiinni toisiinsa.

Sidonta-aineella käsiteltäessä kuiduille ruiskutetaan sidonta-ainetta tai ne vedetään sidonta-aineen läpi, jolloin kuidut liittyvät yhteen. Tähän voidaan liittää lämpökäsittely.

2.3 Ominaisuudet

Kuitukankaiden raaka-aineiden (polypropyleeni, polyesteri, polyamidi) johdosta tuotteille on tunnusomaista suuri lujuus, hyvä kemikaalienkestävyys, lahoamattomuus ja keveys. Suurehkoon veto-
lujuuteen liittyä usein huomattava venymis- ja repimislujuus.

Kuitukankaiden yleisimmät painoluokat ovat noin 150...300 g/m². Normaleissa käyttölämpötiloissa tuotteiden ominaisuudet eivät muutu. Kuitukankaiden vedenläpäisevyys on yleensä suurehko. Toisaalta niiden huokoskoon jakautuma on sellainen, että ne varsin tehokkaasti estävät hienojen maa-ainesten kulkeutumista. Tuotteiden ominaisuudet eivät käytännöllisesti katsoen muutu vedessä. Kuitukankaista on kuitenkin huomattava, että pitkäaikainen ultraviolettisäteily (aurionvalo) vähentää niiden lujuutta.

Suomessa vuoden 1977 alussa markkinoilla olleet kuitukankaat ja niiden ominaisuudet ilmenevät liitteessä 1.

3. TUOTTEILLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET

3.1 Tekniset vaatimukset

Kuitukankaiden tekstiililuonne lienee osittain ollut syynä siihen, että myyjien esittämät tuotteiden ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet eivät aina ole vastanneet rakennussektorin käsityksiä. Toisaalta rakentajien tiedonpuute synteettisistä materiaaleista on aiheuttanut informaatioaukon tuottajien ja käyttäjien välille. Tällä hetkellä tämä aukko on kuitenkin vähitellen katoamassa, sillä tuottajat ovat ymmärtäneet, etteivät he myy tuotteitaan asiantunteville tekstiilien käyttäjille, ja toisaalta rakentajat ovat oppineet tuntemaan näitä uusia materiaaleja. Kuitukankaat voivat tuskin täyttää kaikkia rakennussektorin asettamia vaatimuksia. Kuitenkaan ei voida kieltää niiden käytön maarakentamisessa aikaansaamia sekä materiaali- että asennuskustannusten säästöjä.

Kuitukankaille asetettavat tekniset vaatimukset riippuvat osittain materiaalien käyttöolosuhteista. Yleisesti katsoen on tärkeää, että kuitukankailla on hyvä kestävyys kemikaalien sekä pieneliöiden ja bakteerien vaikutusta vastaan. Materiaalin pitää kestää vaadittavat käyttölämpötilan vaihtelut ominaisuuksien pysyessä lähes muuttumattomina. Materiaali ei myöskään saa olla liian herkkää ultraviolettivalon vaikutukselle.

Kuitukankaiden suodatusominaisuuksien täytyy olla tyydyttävät, ts. vedenläpäisevyyden pitää olla riittävä, mutta samalla niiden tulee estää hienorakeisten maa-ainesten liikkuminen. Kankaiden tulee kestää tietyn suuruisia rakenteiden aiheuttamia kuormituksia. Tällöin tulee kysymykseen lähinnä kankaiden veto- ja revintälujuus.

Jos kuitukankaita käytetään lujitustarkoituksiin ("armeeraukseen"), tulee mekaanisen lujuuden olla suuri. Tietty vaatimus on myös kankaan kitkaominaisuuksilla huomioon ottaen kangasta vasten tulevan materiaalin. Jos kangasta käytetään esim. asfalttipäällysteissä, tämä asettaa vaatimuksia kankaan sulamispisteelle sekä mekaanisten ominaisuuksien muuttumattomuudelle korkeassa lämpötilassa.

Yksi ja sama kuitukangas ei yleensä täytä kaikkia näitä vaatimuksia. Tärkeimmät vaadittavat ominaisuudet on tämän johdosta harkittava tapaus tapaukselta suunniteltu rakenne ja käyttöolosuhteet huomioon ottaen.

3.2 Laadunvalvonta

Toistaiseksi ei Suomessa, Ruotsissa eikä Tanskassa ole ollut maarakennuksessa käytettävien kuitukankaiden laadunvalvontaa. Norjassa on muun tutkimustyön yhteydessä suoritettu myös vähäisessä määrin laadunvalvonnaksi katsottavia toimenpiteitä. Tämä on koskenut ensisijaisesti kankaiden mekaanisia ominaisuuksia, esim. painoa ja lujuutta. Eräissä tapauksissa on Suomessa todettu vaihtelua kuitukankaiden laadussa, joten tarvetta varsinaiseen laadunvalvontaan on. Hankaluutta tässä suhteessa aiheuttaa osittain se, että valvonta olisi vielä tässä vaiheessa suoritettava ensisijaisesti tekstiilien testauksessa käytettäviä menetelmiä soveltaen. Tämän johdosta olisi kehi-

tettävä sellaisia testausmenetelmiä, jotka ottavat huomioon kuitukankaiden käytön maarakennusolosuhteissa.

3.3 Tutkimustoiminta

Kuitukankaiden käyttö maarakennuksessa on kasvanut viime vuosina erittäin nopeasti. Tämän johdosta on alan tutkimus- ja kehitystoiminta ollut toistaiseksi vähäistä ja hajanaista. Olennaisimmat tiedot on saatu tuotteiden valmistajilta, jotka ovat testauttaneet tuotteitaan joko omissa tai myös kansainvälisesti tunnetuissa tutkimuslaitoksissa.

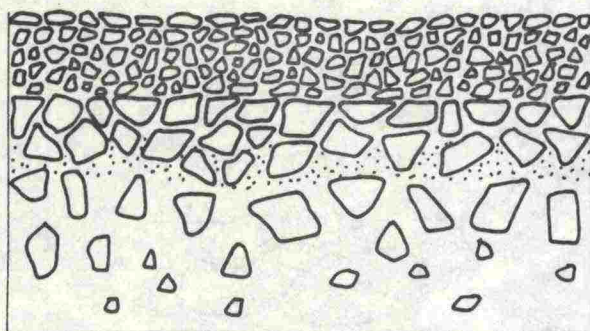
Normeeratut testimenetelmät ovat kuitenkin pääosiltaan tekstiiliteollisuuden käyttämiä tutkimusmenetelmiä. Ne testit, jotka ottavat huomioon kankaiden toiminnan maassa, ovat toistaiseksi olleet epäyhtenäisiä ja ilman varsinaisia normeja suoritettuja. Lähitulevaisuuden tutkimustoiminnan painopiste pitäisi ilmeisesti tämän johdosta kohdistua sellaisten testimenetelmien kehittämiseen, jotka ottaisivat huomioon kankaiden toiminnan erilaisissa maarakenteissa. Testimenetelmien pitäisi koskea lähinnä lujuuden, kuten veto- ja revintälujuuden, vedenläpäisevyyden sekä ns. penetraatiolujuuden (kartion tunkeutuman) määrittämistä. Tällaisten testimenetelmien kehittäminen onkin tällä hetkellä työn alaisena.

Testimenetelmien lisäksi on tällä hetkellä huomattavaa puutetta alan normeista ja käytännön ohjeista. Tarvittaisiin suosituksia tuotteille eri tapauksissa asetettavista vaatimuksista ja eri tuotteiden soveltavuudesta erilaisiin maarakenteisiin.

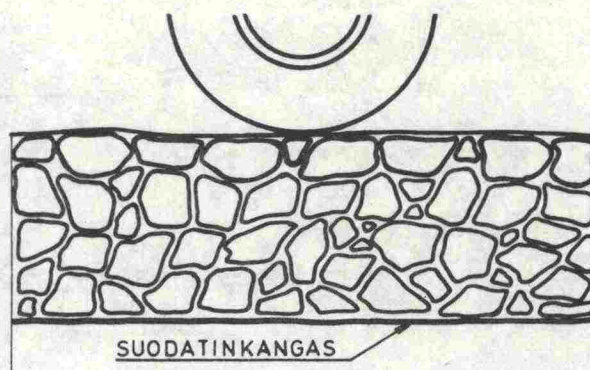
4. KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

4.1 Kuitukankaiden käyttö

Synteettisten kuitukankaiden käyttö on toistaiseksi ollut laajinta sellaisissa rakenteissa, joissa kuitukangas erottaa erilaisen päällysrakenteen pohjamaasta. Kuitukankaita voidaan käyttää ensisijaisesti silloin, kun maapohja on pehmeää ja heikosti kantavaa tai häiriintyy märkien työolosuhteiden aikana. Pehmeälle maapohjalle päällystai muun tierakenteen alle asennettu kuitukangas estää karkearakeisten kerrosten sekoittumisen pehmeään pohjamaahan (kuvat 1 ja 2). Tilapäisiä työmaateitä



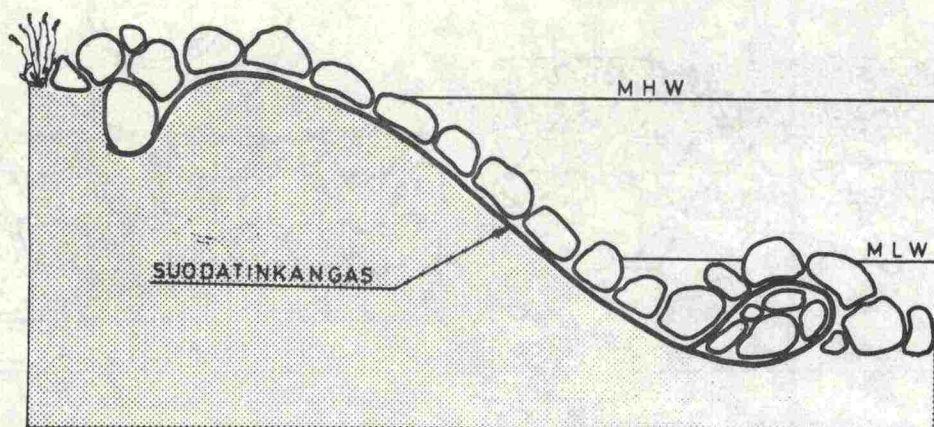
Kuva 1.
Karkearakeinen kerros sekoittuu helposti pehmeään pohjamaahan.



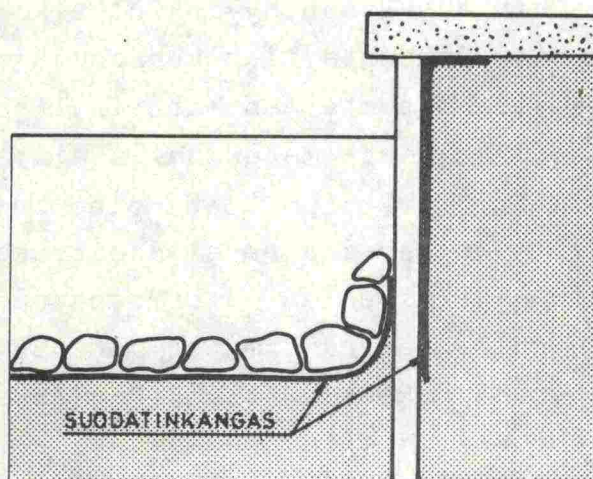
Kuva 2.
Kuitukangas estää päällysrakenteen sekoittumista heikosti kantavaan pohjamaahan.

voidaan tällöin rakentaa pintaosastaan hyvinkin heikoille maapohjille, sillä kuitukankaan johdosta tien kerrosrakenne säilyttää kantavuutensa. Samalla saavutetaan materiaalinsäästöä, koska kerrosrakenteen usein kallista materiaalia ei jatkuvasti sekoitu pehmeään pohjamaahan. Korkealuokkaisempien teiden osalta kuitukangas toimii myös varsinaisena suodatinkerroksena estäen hienorakeisten mineraaliainesten nousemisen päällysrakenteeseen, joka tällöin säilyttää routimattomuutensa. Yleensä kuitukankaita voidaan käyttää rakeisuudeltaan huomattavasti toisistaan poikkeavia kerroksia erottavana kalvona.

Eroosiosuojaus muodostaa kuitu- tai suodatinkankaiden huomattavan käyttökohteen. Kysymykseen tulevat mm. rantojen, kanavaluiskien, patoluiskien ja muiden vastaavien vesirakenteiden verhoukseen liittyvät ratkaisut. Näissä rakenteissa suodatinkankailla voidaan usein korvata klassisia, mineraaliaineksesta tehtyjä filttireitä. Rantojen eroosiosuojauksessa kuitukangas voidaan tavallisesti levittää suoraan pohjamaan päälle ja peittää kangas aallokkoa tai virtauksia kestäväällä karkealla kiviaineksella (kuva 3). Kanavaluiskien osalta suodatinkankaan käyttö lisäksi vähentää kaivumassoja. Vesirakennuksen alalla esiintyy lukuisia muita rakenteita, joissa suodatinkankaiden käyttö saattaa tulla kysymykseen. Tällaisia ovat mm. erilaiset laituri-, satama- ja pengerrakenteet (kuva 4). Näiden rakenteiden suunnittelussa on syytä ottaa huomioon suodatinkankaat, sillä nämä saattavat mahdollistaa ratkaisun, joka klassisilla filttireillä ei olisi mahdollista.



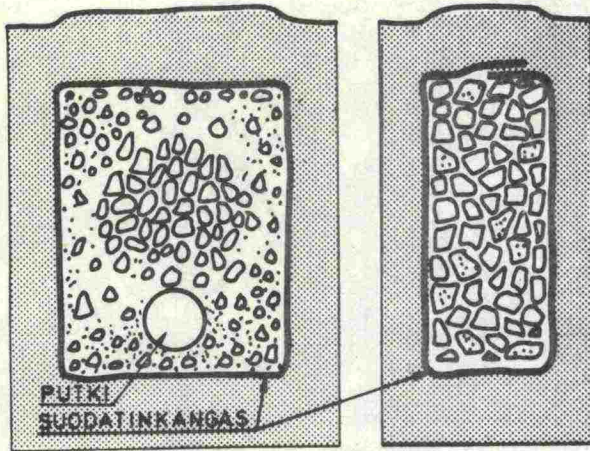
Kuva 3. Suodatinkankaan käyttö rantojen, kanavien yms. eroosio-suojauksessa.



Kuva 4. Kuitukankaan käyttö laiturirakenteessa.

Talonrakennuksessa kuitukankaita voidaan käyttää mm. maanvaraisten lattioiden alla sekä salaojituksessa. Herkästi häiriintyvillä maapohjilla rakennetussa maanvaraisten lattioiden alapuolisen salaojituserroksen alla on käytettävä suodatinkerrosta. Tämä voidaan korvata kuitukankaalla, jonka käyttö vähentää pienessä määrin myös kaivumassoja. Vastaavilla maapohjilla vaaditaan suodatinkerros myös salaojituksen yhteyteen. Myös tämän suodatinkerroksen korvaaminen kuitukankaalla on useimmiten tarkoituksenmukaista.

Kuitukankaat mahdollistavat lisäksi eroosioherkässäkin maapohjassa erilaisten kuivatusjärjestelmien rakentamismahdollisuuden (kuva 5). Kuitukangasta voidaan lisäksi käyttää vetisissä ja pehmeissä peruskaivannoissa työpetien, pumppukaivantojen yms. yhteydessä.



Kuva 5.
Suodatinkankaan soveltaminen erilaisissa kuivatusjärjestelmissä.

Pehmeäpohjaisten uimarantojen kunnostaminen on mahdollista kuitukankaita käyttäen. Näissä tapauksissa voidaan pohjalle levittää painoluokaltaan kevyehkö ja hinnaltaan edullinen kuitukangas, joka verhotaan sora-hiekka-kerroksella.

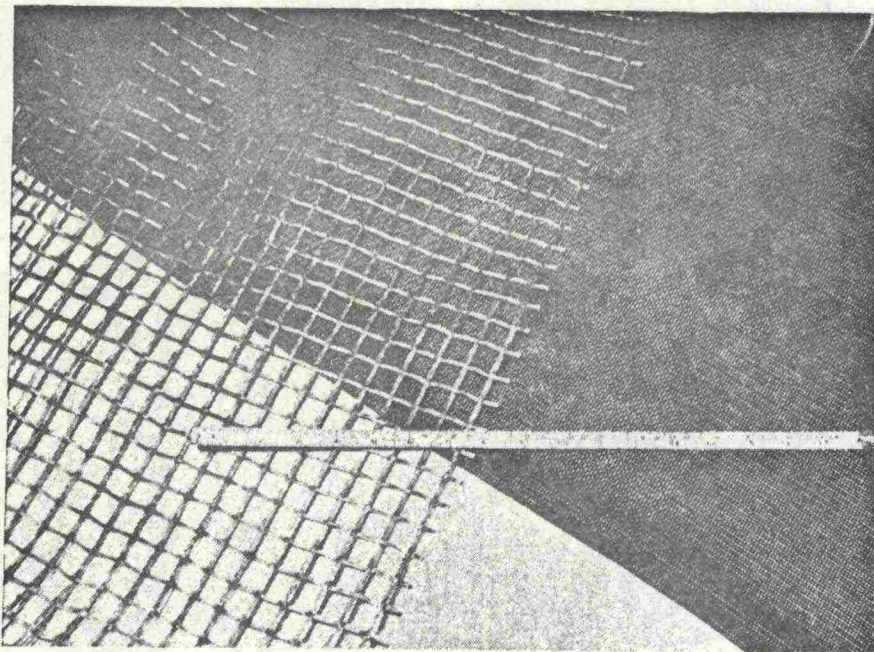
Kuitukankaiden käyttömahdollisuuksista voidaan lisäksi mainita käyttö vedenottamoissa ja puhdistamoissa. Lisäksi kuitukankaita on käytetty esim. nurmikkojen sekä kasvihuoneiden kasvu-

alustan eristävänä kalvona sekä kevyitä liikenneväyliä ja kuntopolkuja yms. rakennettaessa.

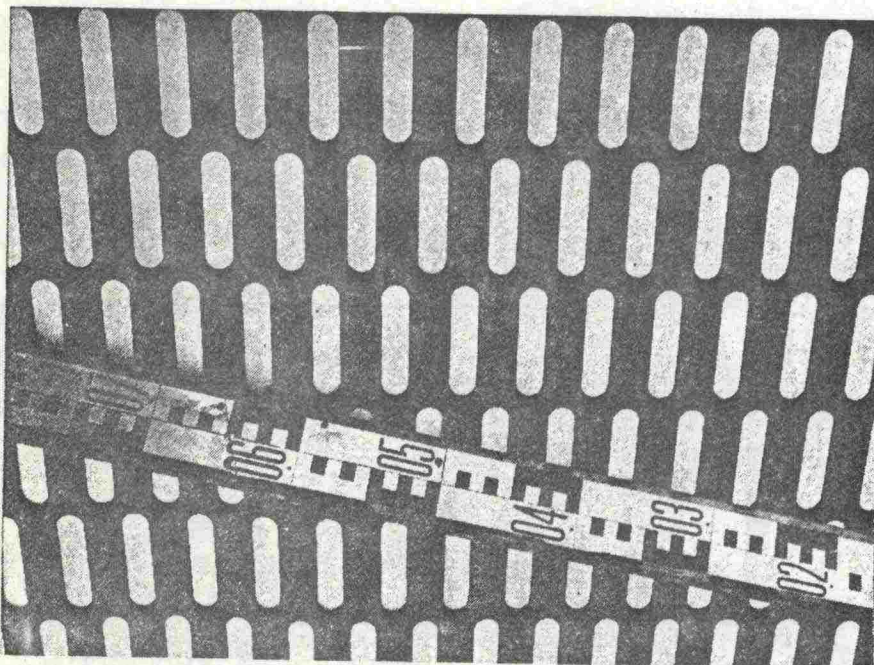
4.2 Muut synteettiset materiaalit

Tienrakennuksen päällysteiden yhteydessä on eräissä tapauksissa käytetty synteettisiä materiaaleja lujittavana "raudoituskerroksena". Kysymyksessä on tällöin yleensä ollut rikkoutuneen päällysteen korjaaminen tai saumakohtien lujittaminen. Vastavia rakenteita on kokeiltu myös lentokentillä. Lujittavana kerroksena on käytetty sekä kuitukankaita että ns. ristikkokudoksia (kuva 6). Samoja materiaaleja on kokeiltu myös maapenkeiden sisään sijoitettuna raudoituskerroksina sekä patoaltaiden asfalttitiivisteissä.

Kanavien ja ojien luiskaverhoukseen on olemassa rei'itettyjä muovimattoja (kuva 7). Nämä kiinnitetään yleensä teräspuikoilla pohjamaan päälle sellaisinaan ilman muuta verhousta. Mahdollinen kasvillisuus tunkeutuu maton reikien läpi peittäen osittain itse alkuperäisen synteettisen verhouksmateriaalin. Muovimatto yhdessä kasvillisuuden kanssa toimii suojana sekä virtausten että aallokon aiheuttamaa pintaeroosiota vastaan. Rakennetta on käytetty lähinnä Keski-Euroopassa mm. ojien eroosiosuojana sekä erilaisissa rantavahvistuksissa. Tätä muovimattoja on lisäksi valmistaja suositannut käytettäväksi mm. lumiaitoina.



Kuva 6. Raudoituserroksena käytetty synteettinen ristikkokudos.



Kuva 7. Luiskaverhouksissa käytetty rei'itetty muovimatto.

Jyrkkien tienluiskien verhoukseen on Keski-Euroopassa kokeiltu nailonista tehtyjä mattoja (mm. Enkamat). Näiden kudus on avoin, juurimainen ja kolmiulotteinen, joten kasvillisuus pysyy tunkeutumaan maton läpi. Matto estää ensisijaisesti pintavesien eroosiota jyrkissä, eroosioherkissä luiskissa ja auttaa kasvillisuuden kiinnittymistä luiskan pintaan.

Vettäpitävien muovikalvojen tai -kankaiden avulla voidaan maahan kaivettuun tai penkereen avulla rakennettuun altaaseen tehdä vesivarastoja eri tarkoituksia varten. Vedenpitävä kalvo levitetään tasatulle maapohjalle, minkä jälkeen erilliset kais-
tat liimataan tai kuumasaumataan kiinni toisiinsa. Näitä veden-
pitäviä muovikalvoja käytetään mm. erillisinä vesisäiliöinä
sekä betonisten altaiden ja säiliöiden yhteydessä.

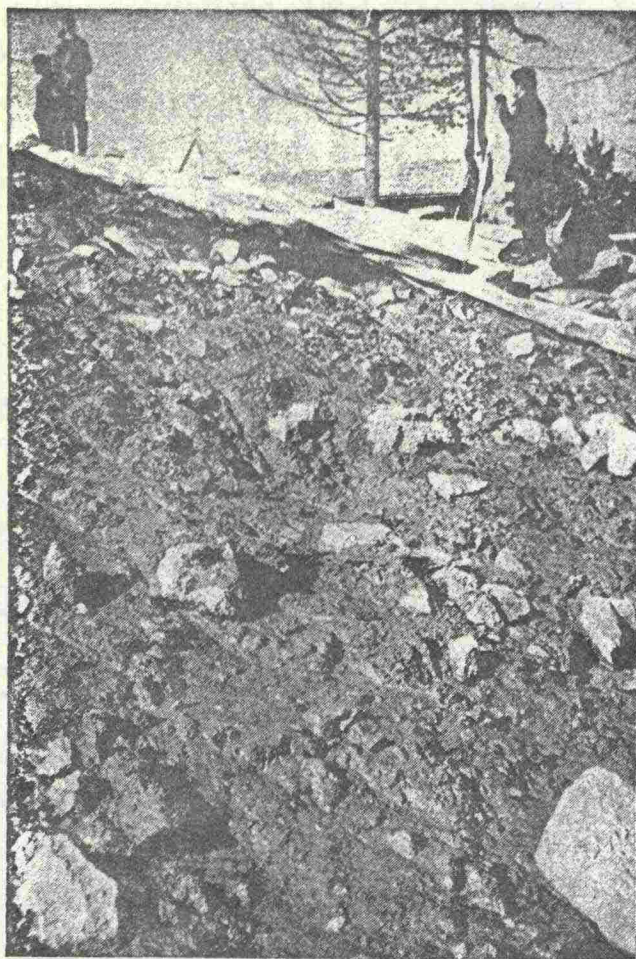
5. TÄHÄNASTISET KOKEMUKSET

5.1 Kuitukankaat

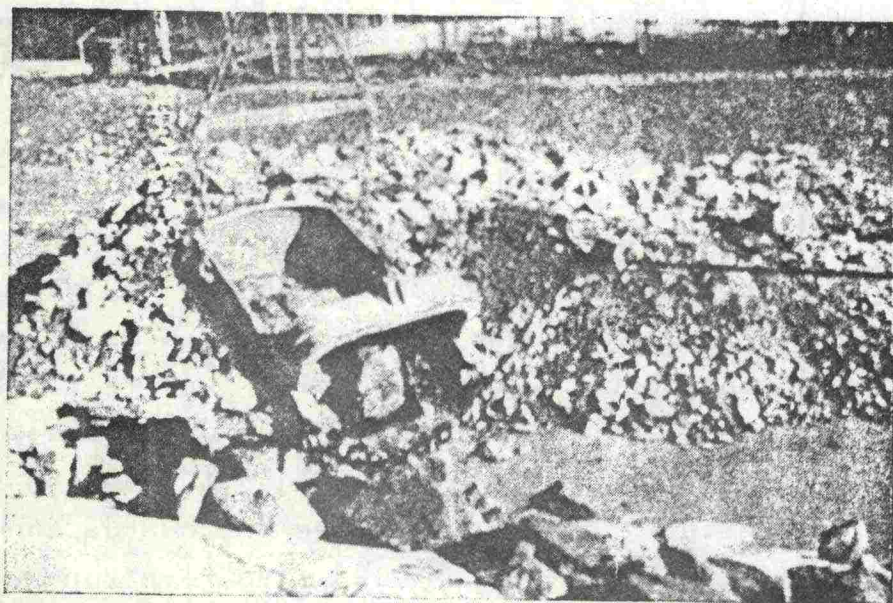
Ensimmäisiä kuitukankaiden koeluonteisia asennuksia Suomessa suoritettiin vuosien 1972...1973 aikana sekä kanava- että maa-
patoluiskiin. Näistä voidaan mainita mm. Lastukosken kanavan
verhousen uusinta ja Säviän kanavan uudelleen rakentaminen.
Myöhempiä, lähes koeluonteisia rakennuskohteita ovat olleet
mm. Vääksyn kanavan korjaus sekä Kolun kanavan uudelleen raken-
taminen.

Kuitukangas on yleensä levitetty suoraan pusku- tai kaivuko-
neella tasatulle luiskalle (kuva 8). Kangaskaistaleet on ase-
tettu limittäin 0,3...0,5 m ja painotettu kivillä tai kiinni-
tettu puu- tai terästapeilla. Louhe- tai vastaava verhous on
sijoitettu kankaan päälle joko pusku- tai kaivukonetta käyt-
täten (kuva 9). Louheen levityksen yhteydessä tulee kuitukankaa-
seen usein pieniä paikallisia repeämiä. Näillä ei yleensä ole
havaittu olleen käytännön merkitystä. Oikean kangaslaadun va-
lintaan on kuitenkin kiinnitettävä huomiota, sillä eräät kevyet
laadut pyrkivät raskaassa rakenteessa repeytymään haitallisessa
määrin.

Sekä Lastukoskella että Vääksyssä kanavaluiskan korjauksen yh-
teydessä on pyritty säilyttämään vanha miljöö. Luiskat ver-
hoiltiin tämän johdosta uudelleen vanhalla kiveyksellä. Lastu-
koskella kuitukankaalla korvattiin osittain murskesorasuoda-
tinta ja vanha kiveys ladottiin suoraan suodatinkankaan päälle.
Liian tasaisen alustan johdosta kiveyksen asennuskustannukset
saattavat tällöin muodostua suurehkoiksi. Vääksyn kanavan van-
han kiveyksen uudelleen asennuksen yhteydessä kuitukankaan päälle
levitettiin ohut murskekerros, joka samalla toimi asennusalus-
tana pohjaltaan epätasaisille kiville. Vääksyssä kuitukankaan



Kuva 8. Kanavaluiska ennen suodatinkankaan asennusta (Säviä).



Kuva 9. Kiviheitoke levitetään vetokaivukoneella luis-
kaan asennetun suodatinkankaan päälle (Säviä).

käyttö lisäksi edesauttoi kanavareunuksen ennallaan säilymistä, sillä klassisia suodattimia käytettäessä olisi jouduttu suorittamaan lisäkaivua, mikä olisi vahingoittanut kanavaluiskan yläosassa kasvavaa puustoa.

Kuitukankaita on lisäksi käytetty lukuisissa kohteissa eristävänä tai suodatinkerroksena työmaateissa, peruskaivannoissa, ranta- ja kanavaverhouksissa sekä yleensä pehmeäpohjaisille alueille rakennettaessa. Varsinaisessa tienrakennuksessa käyttö on toistaiseksi ollut vielä vähäistä. Se on rajoittunut lähinnä koeluonteisiin asennuksiin sekä erilaisiin erikoistapauksiin pehmeiköillä. Kuitukankaiden käyttö tienrakennuksessa on kuitenkin virallisesti hyväksytty, sillä TVH:n tierakennustöiden yleisessä työselityksessä (1974) kuitukangas on hyväksytty suodatin-eristyskerros. Kuitukankaiden käyttö on lisäksi mahdollista vanhojen teiden parannustöiden yhteydessä.

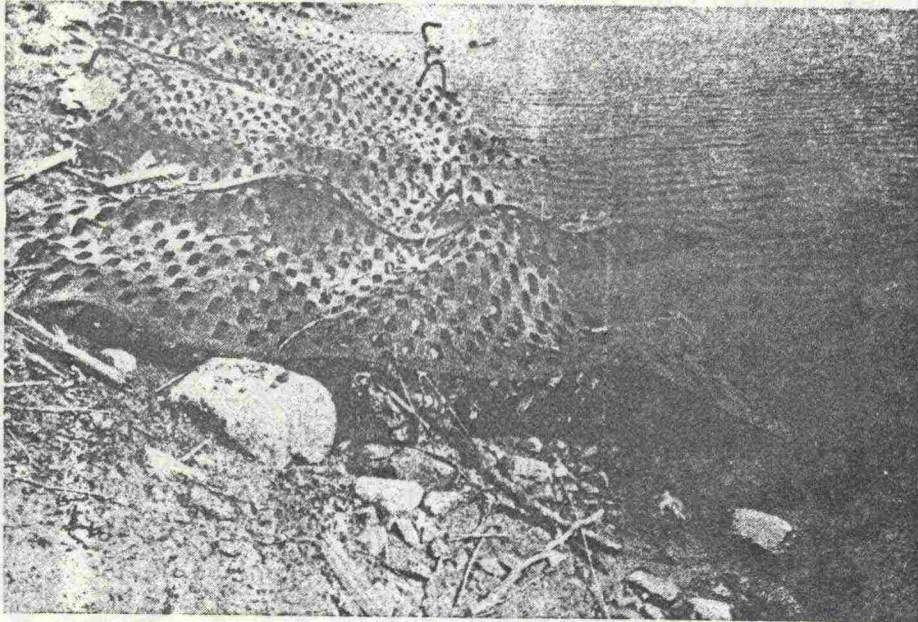
Kokemukset ovat osoittaneet, että kuitukankaiden asentukseen ei aina kiinnitetä riittävästi huomiota. Useissa tapauksissa on ollut odotettavissa, että huolimattomassa asennuksessa tehdyt virheet ja näiden seuraukset katsotaan tuotteen syyksi. Materiaalikaistojen asennus (limitys, saumaus, kiinnitys maapohjaan) on aina suunniteltava kyseisen rakenteen ja maapohjan laadun mukaan. Vastaavasti pohjamaan käsittely riippuu rakenteesta ja sen käyttötarkoituksesta. Kuitumateriaalien päällä ei saa liikkua työkoneilla, vaan kangas on ensin verhottava rakenteeseen kuuluvalla kerroksella. Materiaalimäärää laskettaessa on huomattava, että useimmat kuitukankaat limitetään, minkä lisäksi on varauduttava mm. pehmeän maapohjan painumisen aiheuttamaan lisämenekkiin. Näin ollen todellinen kangasmäärä on useimmissa tapauksissa jonkin verran suurempi kuin teoreettinen pinta-ala. Varastoinnissa on vältettävä pitkäaikaista säilytystä auringonvalossa. Talviolosuhteissa jäätynyttä kuitukangasrullaa on materiaalin suuren lujuuden johdosta lähes mahdotonta purkaa sulattamatta. Rulla saattaa jäätymä jo pelkästään suojusmuovin sisään kondensoituneen veden johdosta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että varastoinnin tulisi tapahtua lämpimässä tilassa, vaan että rullien jäätymismahdollisuuksien kiinnitetään huomiota.

Pehmeäpohjaisille maa-alueille rakennettaessa on esiintynyt tapauksia, jolloin kuitukangas on repeytynyt rakenteen alla. Eräissä tapauksissa on työmaalla tällöin menetelty siten, että käytetty kuitukangas on korvattu raskaammalla ja paksummalla tuotteella. Tällaisissa tapauksissa on kuitenkin erityisesti huomattava, että ennen kuitukankaan murtumista on myös maapohja murtunut. Valitsemalla raskaampi laatu ei saavuteta varsinaista etua, sillä kuitukangas ei ole näissä tapauksissa tarkoitettu toimimaan minään kantavana tai "raudoittavana" rakenteena, vaan ainoastaan eri kerroksissa erotavana kalvona. Näissä tapauksissa vika ei ole ollut kuitukankaassa, vaan maapohjaa on kuormitettu liikaa. Luonnollinen ratkaisu on korvattava repeytynyt kangas uudella kaistaleella ja uudella maa-aineskerroksella.

5.2 Muut synteettiset materiaalit

Kuitukankaiden lisäksi muita synteettisiä materiaaleja on maa- ja vesirakennuksessa käytetty Suomessa toistaiseksi hyvin vähän. Lähes kaikissa tapauksissa on ollut kysymyksessä koe-käyttö.

Luiskaverhouksiin on eräissä kohteissa kokeiltu em. rei'itettyjä muovimattoja. Asennuksia on suoritettu kanavaluiskiin, jotka on kaivettu normaaliin suomalaiseen moreeniin. Luiskiin kohdistunut eroosio on aiheutunut lähinnä aallokosta ja potkurivirtauksista. Kokemukset ovat näiden osalta olleet negatiivisia. Jo yhden sulavesikauden aikana hienorakeinen maa-aines on kulkeutunut olos muovimaton rei'istä. Tämän johdosta matto jää koholle moreenissa olevien kivien varaan (kuva 10). Maton alle muodostuu huuhtoutumisen seurauksena kiviverhous, joka syntyy myös ilman muovimattoja olevaan luiskaan. Lisäksi on todettu, että talvella saattaa jäiden puristuminen luiskaa vastaan aiheuttaa näissä materiaaleilla halkeamia. Mainitut koeasennukset (Kolun kanava, Säynätsalmen kanava) viittaavat siihen, ettei kyseisten tyyppien pintaverhous sovellu suomalaiseen moreenimaahan kaivettuihin vesiväylien luiskiin. Saattaa kuitenkin esiintyä erityistapauksia, joissa tämäkin verhoustapa on syytä ottaa harkittavaksi.



Kuva 10. Rei'itetyn muovimaton kokeilu Kolun kanavan luiskaverhouksessa.

5.3 Käyttömäärät

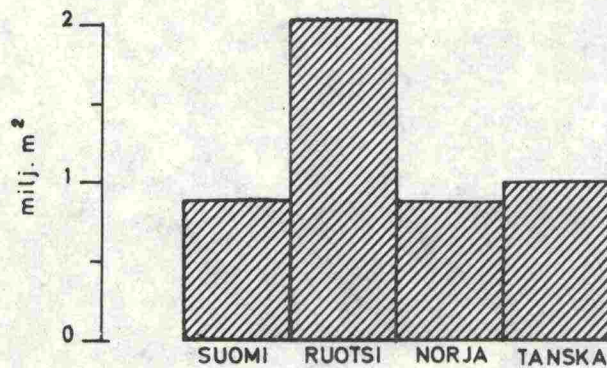
Pohjoismaisen Tieteknillisen Liiton kuitukankaita tienrakennuksessa käsittelevä työryhmä on kerännyt tilastoja Pohjoismaissa myydyistä kuitukankaista. Tuloksista voidaan todeta, että esim. vuonna 1975 käytettiin Ruotsissa noin 2 milj. m² ja muissa Pohjoismaissa kussakin noin 1 milj. m² kuitukankaita (kuva 11).

Maarkaennuksessa käytettyjen kuitukankaiden määrän jäykkä kasvu näkyy parhaiten Suomen tilastoista (kuva 12). Huolimatta rakentamisen hiljenemisestä on kankaiden käyttö lisääntynyt selvästi. Tämä osoittaa, että kankaille on jatkuvasti löydetty uusia käyttösovellutksia. Suomen osalta on esitetty arviointeja, että maksimissaan käytettävä kuitukangasmäärä saattaisi maarakennustöiden yhteydessä olla muutama milj. m² vuodessa.

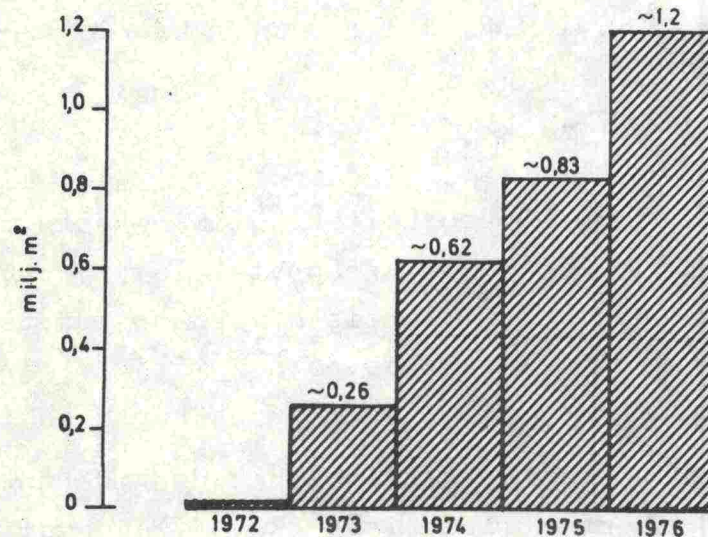
6. KEHITYSNÄKYMÄT

Kuitukankaiden tullessa markkinoille esiintyi rakentajien keskuudessa tiettyjä epäilyjä kankaiden soveltuvuudesta maa- ja vesirakentamiseen. Tämä johtui osittain myyjien eräänlaisesta asiantuntemattomuudesta sekä toisaalta käyttäjien tekstiilitietouden puutteesta. Uusien tuotteiden edut on kuitenkin nopeasti oivallettu, mitä osoittaa jatkuva kuitukankaiden

myynnin kasvu. Käyttäjät ovat huomanneet kankaidenkin voivan täyttää tiettyjä teknisiä vaatimuksia.



Kuva 11. Pohjoismaissa vuonna 1976 myydyt kuitukangasmäärät.



Kuva 12. Suomessa vuosina 1972...1976 myydyt kuitukangasmäärät.

Myynnin lisääntymiseen lienee syynä myös hintakehitys. Luonnonmateriaalien, lähinnä soran ja hiekan, hinta on viime vuosina jatkuvasti noussut mm. kuljetuskustannusten kohoamisen johdosta. Tänä aikana kuitukankaiden hinnat ovat kuitenkin säilyneet lähes sillä tasolla kuin ne olivat vuosina 1972...1973. Kankaiden reaali hinnat ovat näin ollen selvästi laskeneet, minkä johdosta niiden kilpailukyky luonnonmateriaalien kanssa on lisääntynyt. Samanaikaisesti on myös ilmaantunut uusia käyttöaloja kuitukankaille maarakentamisessa. Yksi merkittävimmistä uusista käyttöaloista saattaa lähitulevaisuudessa olla metsäteiden raken-

taminen soille. Näissä teissä perinteinen ja nykyisin kallis risu- tai näretela voitaneen korvata kuitukankaalla.

Suomessa kuitukankaiden käyttö on keskittynyt lähinnä ns. ohuihin kangaslaatuihin, paksujen huomamaisten tuotteiden käyttö on vähäistä. Myös tuleva kehitys näyttää suosivan samaa suuntausta. Tällöin on kuitenkin pidettävä mielessä, etteivät ohuet kangaslaadut aina täytä kaikkia raskaiden rakenteiden asettamia teknisiä vaatimuksia. Näin ollen on vaativissa olosuhteissa valittava teknisesti riittävä tuote.

On ilmeistä, että lähitulevaisuudessa tuotteet tulevat entistä enemmän vastaamaan niitä vaatimuksia, joita rakentajasektori kuitukankaille asettaa. Näyttää myös siltä, että tuotteiden ryhmittelyssä siirryttäisiin vertaamaan niiden lujuutta eikä painoa/m², kuten käytäntö on tällä hetkellä. Tämä toisaalta asettaa vaatimuksia laadunvalvonnan suhteen, jota ei vielä toistaiseksi Suomessa ole.

Kuitukankaiden käyttö perustuu tällä hetkellä lähinnä myyjien suosituksiin sekä käyttäjien aikaisempiin ratkaisuihin ja kokemuksiin. Yhtenäisiä ohjeita tai suosituksia eri kuitukankaiden soveltuvuudesta erilaisiin käyttötarkoituksiin ei ole. Myöskään asennusohjeita tai muita vastaavia ei ole toistaiseksi laadittu. Eräs ohjeellinen käyttösuositus on laadittu Norjassa (Veglaboratorioet). Tästä Suomen markkinoille ja olosuhteisiin tehty luonnos on esitetty liitteessä 1. Yhtenäisen käytännön ja ratkaisujen aikaansaamiseksi tarvittaisiin lähitulevaisuudessa esim. yhdistys- tms. tasolla laadittuja puolivirallisia ohjeita. Tällaisten laadinta saattaisi tapahtua esim. Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen toimesta. Merkittävää lisätietoutta näiden ohjeiden laatimiseksi saataneen huhtikuussa 1977 Pariisissa pidettävästä alan kansainvälisestä kongressista. Saattaisi olla tarkoituksenmukaista kehittää tällaiset ohjeet koskemaan koko pohjoismaista rakennussektoria.

IMATRAN VOIMA OSAKEYHTIÖ			MAA- JA POHJARAKENNUKSESSA KÄYTETTÄVIEN KUITUKANKAIDEN MATERIAALITIEDOT									TAMMIKUU -77				
TYYPPI	TUOTE	VALMIS- TAJA	EDUSTAJA SUOMESSA	MATE- RIAALI	RULLA				VALMISTAJAN TIEDOT			VEGLABORATORIET (NORJA)				EHD- TUS KÄYTTÖ- LUO- KAKSI *
					L m	B m	LxB m ²	Paino noin kg	Paksuus mm	Paino g/m ²	Vetoluj. pit/poik kp/cm	VETOLUJUUS			KARTIO- KOE	
												Lujuus/ 20% muodonm. kp/cm	Maks. lujuus kp/cm	Muodon- muutos maks. luj. %		
FIBERTEX	S 170	A/S Fibertex (DK)	Sulin Ky Helsinki p.687077	95%poly- prop. 5%polyest.	100	5,20	520	90	0,5	170	6,4/8,0	4,8	10,9	65	2,7	II
	S 300				100	5,20	520	170	1,0	300	12/16	9,2	21,8	70	2,1	III
POLYFELT	TS 200	Chemie Linz AG (A)	ESarlinOy Helsinki p.535022	polyprop.	300 150	2,40 4,60	720 690	145	2,0	200	11	-	~7	77-80	2,8	II
	TS 300				240 120	2,50 4,80	600 576	150	3,0	250	13	2,1	-	-	2,2	II
	TS 400				160 80	2,50 4,80	400 384	150	4,5	350	16	2,6	-	-	1,6	III
TERRAM	PRF 70	ICI (GB)	Suomen ICI Helsinki p.647611	75%poly- prop. 25%poly- amid.	200	4,50	900	60	0,3	70	2,6	-	-	-	-	I
	PRF 140				100	4,50	450	60	0,5	140	4,9	3,2	5,5	70	>5,0	II
	PRF 210				100	4,50	450	90	0,8	210	7,0	-	-	-	-	(II-III)
	PRF 280				100	4,50	450	120	1,1	280	9,4	6,9	~10,6	~50	3,0	III
TREVIRA Spunbond	200	Hoechst AG (D)	Hoechst FennicaOy Helsinki p.820022	polyest.	200	5,0	1000	200	2,5	200	10	4,0	15,3	73	2,5	II
	300				200	5,0	1000	300	3,0	300	15	7,7	23,2	78	1,9	III
	400				300	2,20	660	270	3,5	400	24	13,6	32,7	82	1,6	III-IV
	500				300 150	2,20 5,0	660 750	380	4,0	500	27	19,2	44,5	73	1,3	IV
TYPAR	136	Du Pont (L)	RolateOy Helsinki p.670021	polyprop.	150	5,20 4,20 3,50	780 630 525	110 90 75	0,5	136	11	9,2	10,5	50	2,7	II
	200				100	5,20 4,20	520 420	110 90	0,6	200	18	10,3	13,2	60	2,6	III

* KÄYTTÖ- LUOKKA	I	II	III	IV
SELITYS	Nurmetukset, kasvihuone- käyttö yms.	Eristys/suo- datin mine- raalimaala- jeja ja tur- vetta vasten.	Eristys/suo- datin karkea- ta kiviaines- ta vasten (so- mero, karkea murske yms.)	Eristys/suo- datin karkea- ta, lajittuma- tonta louhet- ta vasten.

Käyttöloukkaehdotus perustuu pääosiltaan Norjan tielabora-
torion (Veglaboratoriet) luonnokseen. Luokitus ottaa saman-
aikaisesti huomioon kuitumateriaalin, kankaan vetolujuuden,
kartion tunkeutumisluvun ja jossain määrin vedenjohtavuuden.
Luokitus pohjautuu ensisijaisesti maa- ja pohjarakennuksen
tavoitteisiin. Vaativien vesirakenteiden (patojen jne.) osalta
käyttömahdollisuudet on tarkistettava tapaus tapaukselta.

Vs. kaupunginpuutarhuri Pekka Jyränpö

YMPÄRISTÖN VIIMEISTELYMENETELMÄT JA TYÖT

1 SUUNNITTELU

Ympäristön viimeistely on useimmiten ns viherrakentamista, maisemointia. Tämän päivän viherrakentaminen vaatii kunnollisen suunnittelun toteutuakseen asiallisesti. Rakennuttajan tulee teettää kuhunkin kohteeseen oma maisemasuunnitelmansa, jonka perusteella hän voi pyytää tarjoukset ja teettää työn loppuun saakka.

Maisemasuunnitelman laatii alan koulutuksen saanut henkilö (puutarha-arkkitehti). Rakennuttajan tulee vaatia maiseman yleissuunnitelma 1:500 tai 1:1000 kohteen laajuudesta riippuen. Yleissuunnitelman lisäksi pitää suunnitelmaan liittyä kuvat 1:100 esim lohkokkain ja detalikuvat erilaisista ratkaisuksista. Kuviin tulee liittää täsmälliset kasviluettelot ja pinta-alalaskelmat.

Työselitys, joka täsmentää laatuvaatimukset sekä tarkoitukseen sopivat työmenetelmät, on aina vaadittava. Tarjouksien epäyhtenäisyys johtuu suurimmalta osalta epä-tarkoista kuvista ja työselityksen puutteesta tai puutteellisuudesta. Rakennuttaja, yhdessä suunnittelijan kanssa, on vastuussa niin tarkasta suunnittelusta että viherrakennustyön tarjooja todella tietää mitä hän tarjoaa laskiessaan urakkaa.

2 YMPÄRISTÖN SÄILYTTÄMINEN

2.1 Suunnittelu

Huolellisesti tehty suunnitelma ottaa kantaa myös kohteiden ja kasvillisuuden säilyttämiseen. Suunnittelijan tehtävä on ratkaista mitä säilytetään ja miten sitä pitäisi suojella. Työselityksessä tulee antaa selvät ohjeet tästä. Rakennuttajan velvollisuus on tarkastaa, että säästäminen ja suojelu ovat mahdollisia toteuttaa. Rakennuttaja voi käyttää apunaan rakennusasiantuntijaa. Ratkaisuja ei saa tehdä tämän päivän tilanteen mukaan, vaan suojelu on tähdättävä vähintään 5 - 10 vuoden päähän. On muistettava, että luonto kasvaa ja muuttuu jatkuvasti, tästä tietämyksestä on niinikään vastuu suunnittelijalla.

2.2 Toteutus

Varsinainen työkohteessa tapahtuva säästäminen ja suojelu ovat rakentamisen yhteydessä pääurakoitsijan vastuulla, annettujen suunnitelmien ja työselityksen puitteissa. Kasvillisuuden suojelu voidaan toteuttaa joko aitaamalla tietyt kohteet alueittain huolellisesti tai suojaamalla kasvikohtaisesti. Suojaaminen pitää kohdistaa maanpintaan, kasvien juuristoon sekä puiden runkoihin ja latvuksiin. Aluekohtainen suojaaminen toteutetaan tukevarakenteisella aidalla ja ehdottomalla liikkumis- sekä varastointikiellolla. Kasvikohtaisesti suojattaessa

puiden rungot suojataan esim. 4 metriin saakka pehmikkeellä ja 50 x 100 mm soiroilla. Pelkkä ohut lautasuojus ei riitä.

3

VIHREYTYKSEN TOTEUTUS

3.1

Urakat

Vihreytyksen suorittaa useimmiten alaurakoitsijana toimiva viherrakentaja. Pääurakoitsijan vastuulla on, että alueen pohjat on tehty oikeaan tasoon ja muotoon. Lisäämällä humuskerros ja kasvillisuus voidaan vihreytys toteuttaa. Urakkamuotona puhutaan joko yksikköhintaaurakasta tai kokonaisurakasta. Mitä tarkemmat suunnitelmat ja selostukset ovat, sen paremmin voidaan työ toteuttaa kokonaisurakkana. Laajamittaiset maisemoinnit on useimmiten paras urakoida yksikköhintaaurakkana, koska tarkat yksikkömäärät selviävät vasta suorittemittauspöytäkirjoista.

3.2

Pintakäsittelyt

Vihreytys voidaan toteuttaa joko luonnon omaa kasvuvormia hyväksi käyttäen tai kylvämällä ja istuttamalla eri menetelmin. Vaikka käytettäisiin luonnon omaa kylväytymismahdollisuutta, on maaston muotoilu aina suoritettava. Pintakäsittelyn laatu ratkaisee miten nopeasti kasvillisuus leviää. Parhaimpana vaihtoehtona pidetään pinnan kattamista humuspitoisella kivennäismaalla. Humuspitoisuuden lisääjänä voidaan käyttää taajamissa syntyvää kuivattua viemärilietettä tai turvetta. Liette levitetään mieluummin syksyllä 5 - 7 cm kerrokseksi ja äestetään keväällä piikkiäkeellä pintamaan kanssa sekaisin. Liiallisesta lietteen käytöstä on haittaa nimenomaan työstämisvaiheessa.

3.3

Kylvömenetelmät

Haluttaessa suorittaa heinän kylvö, voidaan se tehdä edelläesitetyn mukaisesti käsitellylle pinnalle maatalouskylvövälinein. Lopullinen taseus suoritetaan kamrikiijyrällä. Muita laajojen alueiden kylvömahdollisuuksia ovat Curasol- ja bitumiruiskutus sekä erilaiset puhaltamalla suoritettavat kuori- ja turvekateruiskutukset.

Curasol-ruiskutuksessa siemenet ja lannoitteet levitetään veteen sekoitettuina suurimolekyylisen muoviemulsion mukana valmiille alustalle. Muoviemulsio muodostaa maan pinnalle suojakalvon. Curasol-ruiskutuksen onnistuminen on paljolti kiinni ruiskutusajankohdasta ja luiskissa lisäksi viettämis ilmansuunnasta. Parhaana ajankohtana pidetään elokuun alkua. Liian myöhään, syyskuun puolivälin jälkeen ja kesällä suoritettut ruiskutukset ovat yleensä epäonnistuneet. Siemen ei ole itänyt. Aikainen kevätruiskutus saattaa myös onnistua, vaikkakin jyrkät etelään viettävät luiskat "palavat" helposti kesällä.

Bitumiruiskutuksia voidaan tehdä kaikkein aikaisimmin keväällä, koska bitumi sitoo lämpöä ja edistää siten siemenen itämistä. Ns palamisvaara on tällä menetelmällä vielä suurempi kuin Curasol-ruiskutuksella, mikäli siemen ei ehdi kunnolla itää ennen pitkiä aurinkoisia kausia.

Erilaiset kuori- (Arvohumus) ja turveruiskutuskatteet huuhtoutuvat helposti jo kaltevuudeltaan 1 : 2 olevista luiskista. Kylvö tulisi suorittaa mahdollisimman optimaikana, joko keväällä aikaisin tai elokuussa.

Edellä mainitut ruiskutus- ja katenurmetukset eivät kestä kulutusta. Mikäli nurmetettava alue tulee käyttöön (pihat, kentät jne) on syytä käyttää multausta, joka on 15 - 20 cm vahvuinen. Siemen kylvetään nurmikon- tai maatalouskylvökoneella. Pinta jyrätään kamrikijyrällä.

3.4

Istutukset

Vihreytykseen liittyvät istutukset voidaan puiden osalta suorittaa joko metsätaimilla (20cm), piiskataimilla tai varsinaisilla taimistokokoisilla taimilla. Mitä suurempi käyttö (kulutus) on sen isompia taimia tulisi käyttää. Käytettäessä metsätaimia taajamien läheisyydessä pitää istutus suojata aidalla, joka estää alueella liikkumisen. Metsäpuukokoa suuremmille puille pitää aina tehdä istutus- alustan parannus evääksi kasvuunlähdölle. Mitä isomista taimista on kysymys sen parempi istutus- alustan tulee olla.

4

KUSTANNUKSET

Vihreytyksen kustannukset ovat riippuvaisia tehtävän laajuudesta ja käytetyistä menetelmistä. Lietteellä ka-
tettu ja kylvetty täyttöalue maksoi Helsingissä vuonna 1976 n. 3 mk/m², Curasol-ruiskutus maksaa nykyään n. 1 mk/m² ja nurmetus 15 - 20 cm multa-
uksella n. 6 - 11 mk/m².

Metsitys metsätaimilla maksaa n. 40 p/m². 100 cm korkui-
set havupuut maksavat n. 30 mk/kpl samoin 120 cm korkui-
set lehtipuut (piiskataimet) Taimistokokoisien havupuun
(korkeus 150 cm) hinta istutettuna on 80 - 150 mk/kpl
ja lehtipuun (Ø 14 - 16 cm) 100 - 150 mk/kpl. Istutusten
hintaan vaikuttaa alentavasti paikalta saatavan humuksen
(turve, kuori, multa) hinta. Työmaalta talteen otettu
humus on viimeistelytyössä erittäin arvokasta, kokonais-
urakkahintaa ajatellen.

Istutusten osalta hintaa ei pidä tarkastella yksistään
yksikköhinnan mk/kpl pohjalta, vaan lopputarkastelun
kohteena tulee olla mk/pinta-ala. Mitä isompaa istutus-
materiaalia käytetään sen harvempaan istutus voidaan
tehdä. Metsätaimilla istutusetäisyyden tulee olla 2 x 2
metriä, piiskoilla 3 x 3 metriä ja taimistokoolla 5 x 5
metriä. Istutusetäisyyteen vaikuttaa myöskin puulaji.

Lisäksi tulisi aina muistaa mikä on istutuksen tarkoitus
ja minkä ajan kuluessa toivottu tulos halutaan. Asumat-
tomilla alueilla on aikaa odottaa näkyvää tulosta 10 -
15 vuotta, mutta taajamissa tulisi istutusten suojaava
vaikutus tulla heti esille. Taajamissa onkin syytä
käyttää isompaa istutusmateriaalia. Viimeistelytyöiden
osuus koko maanrakennuskohteen kustannuksista on vain
n. 1 - 1,5 % luokkaa vaikka ne tehtäisiin korkealuok-
kaisestikin.

YHTEENVETO

Ympäristön viimeistelyt, vihreytykset jäävät usein puutteellisiksi suunnitelmien puuttumisen tai niiden puutteellisuuden vuoksi. Etukäteissuunnittelua tulisi tehostaa.

Maanrakentamisen päättyessä tulisi pienenkin kohteen läjitys- ja työmaa-alue aina tasata ja muotoilla. Tällöin luontaisella uudistumisella olisi mahdollisuus peittää jäljet ajan kuluessa. Taajamien kohdalla maanrakentamisen vaiheittainen jälkien siistiminen on erityäin tärkeätä. Suurien kohteiden suojaaminen näkösuojaa antavilla istutuksilla säästää monelta turhalta puhe- linsoitolta, selostukselta ja juoksulta.

Hyvän maisemasuunnitelman perusteella tehty asiallinen työtoteutus antaa parhaan lopputuloksen ja kaikki ovat vihreytykseen tyytyväisiä.

KIRJALLISUUTTA

- 1 Reinola, Ario Ympäristönsuojelu ja -hoito maan-
kamaran aineiden kaivutoiminnassa. TVH julkaisu
no 2.791, 1971
- 2 Luonnontekijät asunnon lähiympäristössä. Teknii-
linen korkeakoulu , Arkkitehtiosasto. Julkaisu
b 39, 1975
- 3 Täyttömäkien rakentaminen kaupunkialueella.
Helsingin kaupungin geoteknillinen laitos.
Tiedote 4, 1974

Dipl.ins. Jouko Kankainen

MAARAKENTAMISEN MENETELMIEN KEHITTÄMINEN

1. MITÄ MENETELMIEN KEHITTÄMINEN ON

Menetelmien kehittämisen piiriin voidaan lukea:

- uuden menetelmän kehittäminen
- käytössä olevan menetelmän parantaminen
- valinta olemassa olevista menetelmävaihtoehdoista

Uuden menetelmän kehittämiseksi voidaan kutsua täysin uusien ratkaisujen suunnittelua tai vanhan työmenetelmän parantamista siten, että menetelmä muuttuu niin oleellisesti, ettei vanhaa käytäntöä voida pitää lähtökohtana. Käytössä olevan työmenetelmän parantaminen on usein työn yksinkertaistamista, jolloin parannukset voivat olla hyvinkin vähäisiä, eivätkä ainakaan oleellisesti muuta käytössä olevaa toimintatapaa. Valinta olemassa olevista menetelmävaihtoehdoista liittyy suunnittelutilanteisiin (työnsuunnittelu, työkohdesuunnittelu, työpaikkajärjestelyt jne.), joissa edullisuusvertailuja suorittamalla valitaan käyttökelpoisin toimintatapa toteutettavaan työhön.

Menetelmien kehittäminen voidaan kohdistaa laajoihin työprosesseihin ja tuotantomenetelmiin tai yksittäiseen työpaikkaan, suppeaan työvaiheeseen ja koneen työliikkeisiin. Lisäksi menetelmän kehittäminen voidaan kohdistaa työnjärjestelyyn, rakenteisiin tai rakenteiden osiin, käytettäviin materiaaleihin jne.

2. KEHITTÄMISMENETELMÄT

Menetelmiä voidaan kehittää ns. kysyvän asenteen avulla, työnsuunnittelutekniikkaa hyväksikäyttäen tai työmittauksen, arvoanalyysin tms. erikoistekniikoiden avulla.

Kysyvään asenteeseen eli tavallisen "maalaisjärjen" hyväksikäyttö on usein riittävä ja kaikkien käytössä oleva menetelmä. Se edellyttää todellisuudessa aktiivista halua parantaa omaa työtulostaan ja sille on ominaista kysyvä asenne, kriittinen ajattelutapa ja kyky luovaan toimintaan sekä halua kokeilla ja toimeenpanna uusia ratkaisuja.

Kehittämistyön kysyvää asennetta voidaan kuvata asettamalla itsestään selvät asiat kyseenalaisiksi käyttämällä seuraavatavaisia peruskysymyksiä:

- mitä tehdään, miksi tehdään
- milloin tehdään, miksi tehdään
- kuka tekee, miksi tekee
- missä tehdään, miksi tehdään
- miten tehdään, miksi tehdään

Uuden menetelmän kehittämisessä voidaan erottaa kolme osavaihetta:

- tietojen keräys ja analysointi
- uuden ratkaisun ideointi ja kehittäminen
- toteutettavan ratkaisun valinta ja käyttöönotto

Tiedot voidaan kerätä erilaisilla menetelmillä. Yleisin ratkaisu on tehdä erilaisia huomioita: tiedostamalla mikä työssä on ongelmana, mikä työssä tehdään monimutkaisesti, mihin tuhlataan aikaa, miksi koneen työsaavutus jää suunniteltua pienemmäksi, esiintyykö odotuksia tai häiriöitä, miksi työn laatuvaatimuksia ei saavuteta, miksi kone menee jatkuvasti rikki, miksi materiaalia käytetään paljon. Muita tietojen keräysmenetelmiä ovat mm. työmaalaskennasta, koneiden käyttöilmoituksista saatavat tiedot tai työnmitaustekniikat. Kerättyjen tai havaittujen tosiasioiden pohjalta kehitetään uusia vaihtoehtoisia ratkaisuja. Vaihtoehtojen muodostamiseen pyritään:

- poistamalla turhat työt
- yhdistämällä työnosia suuremmiksi kokonaisuuksiksi
- jakamalla suuria kokonaisuuksia pienemmiksi

- muuttamalla työnosien keskinäistä järjestystä
- yksinkertaistamalla työnosia, tuotteita, työtapoja tai rikastamalla työnsisältöä
- kokeilemalla erilaisia osaratkaisuja käytännössä

3. MENETELMIEN KEHITTÄMISEN LÄHTÖKOHTA

Menetelmien kehittämisen lähtökohtana voi olla:

- organisaation tuloksellisuudelle asetetut vaatimukset
- systemaattinen tutkimustarpeen analysointi esim. valintakriteerien tai kustannusvuotojen etsimisen avulla
- esille tulleiden ongelmien ratkaiseminen
- erilaisten kehittämISRatkaisujen tai parantamisratkaisujen systemaattinen kokeilu

Organisaation sisäisen toiminnan tehokkuudelle voidaan asettaa tavoitteita mm. seuraavilta alueilta:

- tuottavuus tai sen osa-alueet
- taloudellisuus
- kustannusten alentaminen

Kehittäminen on eräs keino ja usein myös välttämätön keino tavoitteisiin pääsemiseksi. Oikeiden kehittämiskohteiden löytäminen tavoitealueelta edellyttää johtajalta ja vastuuhenkilöltä systemaattista ongelmien tai kustannusvuotojen etsimistä ja kehittämistyöstä saatavien hyötyjen arviointia.

Systemaattinen kehittämiskohteiden kartoitus voi perustua mm. seuraavien kriteerien varaan:

- eri töiden tai työvaiheiden tai rakenteiden kustannusten suuruus ja merkitys
- menetelmätaso eli työn toteutuksen hyvyys
- suunnitelmataso eli kuinka hyvin eri työt osataan suunnitella
- töiden ajoituksellinen merkitys eli kuinka työ vaikuttaa koko hankkeen kestoön
- kehittymisnäkyvät eli mikä on työn arvioitu määrällinen tai laadullinen kehittyminen

Kustannusvuotojen etsiminen perustuu yksikkökustannusten ja tuottavuutta tai muita työtä koskevien tunnuslukujen kehittymisen analysointiin tai "standarditason" vertaamiseen. Kustannusvuotojen etsiminen voidaan tehdä yritys-, hanke- tai työkohdetasolla. Yritys- tai hanketasolla voidaan tarkastelun kohteeksi valita mm. seuraavia tunnuslukuja:

- miestyöstä: - miestyökuukauden hinta
- konetyöstä: - vuokratyövoimien hintataso
- urakka/aikapalkkatyön suhde
- konetyön tuottavuus kone-
tonnitunti jaettuna edistävällä suoriteyksiköllä
- kuljetuksista: - kuljetusten määrän suhde
edistäviin suoritteisiin
- yksikkötaksakuljetusten kes-
kiansion suhde tavoiteansioon

Hanketasolla voidaan kustannusvuotoja selvittää myös mas-
satalouden avulla esim. vertaamalla suunniteltuja ja to-
teutuneita massoja, läjitettyjen massojen suhdetta vara-
maapaikasta tuotuihin massoihin jne.

Työn aikana esiintyy aina erilaisia ongelmia, pulmatilan-
teita tai suunnitelmista poikkeamia. Näiden korjaamiseksi
tarvitaan kriittiseen asenteeseen perustuvaa kehittämis-
työtä. Ongelmat voivat olla luonteeltaan esim:

- miksi työmaalla vaihdetaan koneita usein
- miksi koneet odottavat
- miksi päivittäinen työsaavutus jää keskimääräistä
pienemmäksi
- miksi viimeistelytyön määrä on suuri
- miksi valmiiden tuotteiden korjaamista joudutaan
tekemään paljon
- miksi laatuvaatimuksia ei saavuteta
- mitenkä jokin vaikea työ voidaan tehdä
- millä jokin puuttuva materiaali voidaan korvata
- minkälainen lisälaitte tarvitaan koneeseen, jotta...
- jne.

Työmailla syntyy jatkuvasti uusia pieniä parannusideoita. Työkoneisiin ja laitteisiin kehitellään pikkuparannuksia, työskentelytapoja yms. parannellaan oivallusten perusteella. Usein käytökelpoisia oivalluksia ei kuitenkaan kokeilla vaan ne unohdetaan, koska kokeilun aikaansaanti vaatii työtä.

4. KEHITTÄMISTYÖN ORGANISOINTI

Luonnollinen kehittämistyön suorittaja on henkilö, joka vastaa työn toteuttamisesta. Hänen on päästävä tiettyyn tavoitteeseen ja eräänä keinona tavoitteeseen pääsemiseksi on kehittäminen. Tavoitteen tai jonkun tavoitteista tulisi olla niin kireä, että sitä ei saavuteta ilman kehittämispanosta.

Linjaorganisaatio voi käyttää apunaan erikoisesti kehittämistyöhön palkattua henkilökuntaa, silloin kun tarvitaan kehittäjien erikoistaitoja (työntutkimus, arvoanalyysitekniikka jne).

Ongelmana linjaorganisaation omalle kehitystyölle on liika kiire rutiinien hoidossa, pitkäjännitteisyyden puuttuminen tai kehittämistyössä tarvittavan taidon puute. Taidon puute voi liittyä esim. vaihtoehtolaskelmien tekemiseen. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi voidaan kehityshenkilöstöä käyttää muutosagenttina ja opettajana. Tällöin kehitystyö on syytä organisoida projektiksi, jossa kehityshenkilöstö toimii linjaorganisaation henkilöstölle kehittämistekniikoiden opettajana luonnollisen, työhön liittyvän ongelman ratkaisemiseksi.

Kehittämistyön määrää ja laatua voidaan myös lisätä ns. menetelmättekniikoiden avulla, yrityksen paras mestari irrotetaan määrääjäksi työnjohtotehtävistä välittämään omaa ja muualta saamaansa tietoa ja taitoa muille mestareille. Samalla hän voi myös systemaattisesti keskittyä uusien ideoiden luomiseen ja kokeiluun.

5. KEHITTÄMISTYÖN ONGELMAT

Menetelmien kehittämiseen ja käyttöönottoon liittyy mm. seuraavia ongelmia:

- uusia ratkaisuja ei haluta tai ei osata ottaa käyttöön

- uusia menetelmiä ja ideoita on olemassa, mutta ne eivät välity niille, jotka niitä tarvitsevat
- uusia menetelmiä ja ratkaisuja ei haluta kertoa toisille
- ei osata tai ei haluta kehittää uusia ratkaisuja
- on olemassa määräyksiä tai sopimusehtoja, jotka estävät tai hankaloittavat kehittämistä tai tulosten käyttöönottoa
- menetelmien kehittämistyö nähdään erikoismiesten työksi, joka ei koske linjahenkilöstöä
- uusista menetelmistä ei saada sellaista tietoa, joka on välttämätöntä omaa soveltamista varten tai oleellinen tieto hukkuu epäoleellisen joukkoon
- uuden menetelmän käyttöönotto saattaa vaatia riskinottoa
- kehittämistyö suuntautuu väärin asioihin, jolloin siitä ei saada hyötyä.